

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

**Aplikační rámec pro podporu výpočtu
What-if analýz hydrologických modelů
Application Framework for Executing
What-if Analyses of Hydrologic Models**

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Patrik Veteška**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma: Aplikační rámec pro podporu výpočtu what-if analýz hydrologických modelů
Application Framework for Executing what-if Analyses of Hydrologic Models

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem této diplomové práce je vyvinout obecný aplikační rámec pro spouštění what-if analýz hydrologických modelů se zaměřením na modely podporované systémem Floreon+, který je vyvíjen v superpočítačovém centru IT4Innovations. Vyvinutý rámec by měl být uzpůsoben na spouštění what-if analýz pro různé srážko-odtokové modely (semi-distribuované, distribuované), různé hydrodynamické modely (1D, 2D), jejich vzájemnou návaznost a možnost spouštět analýzy na uživatelsky definovaných intervalech hodnot.

1. Studium problematiky what-if analýz v hydrologickém modelování.
2. Specifikace požadavků aplikačního rámce pro podporu výpočtu what-if analýz.
3. Analýza a návrh rámce s ohledem na podporu modelů v systému Floreon+ a snadnou rozšiřitelnost o další modely a domény.
4. Implementace navrženého rámce.
5. Provedení a vyhodnocení experimentů pomocí implementovaného rámce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Brutsaert W. "Hydrology: An Introduction", Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [2] Pecinovský R. "Návrhové vzory", Computer Press, 2013.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Štěpán Kuchař**

Konzultant diplomové práce: Ing. Jan Martinovič, Ph.D.

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.


V Ostravě 25. dubna 2016



.....

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě 25. dubna 2016


.....

Rád by som týmto poďakoval predovšetkým svojmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Štěpánovi Kuchařovi za odbornú pomoc, cenné rady a pripomienky, bez ktorých by som túto prácu nemohol uskutočniť. Taktiež by som tu rád poďakoval Ing. Janovi Martinovičovi, Ph.D. a všetkým, s ktorými som spolupracoval na projekte Floreon+ za prínosnú spoluprácu.

Abstrakt

Cieľom tejto práce je vyvinúť obecný aplikačný rámec pre spúšťanie What-if analýz hydrologických modelov so zameraním na modely podporované systémom Floreon+. Vyvinutý rámec by mal byť prispôsobený na spúšťanie What-if analýz pre zrážko-odtokové modely, hydrodynamické modely, ich vzájomnú previazanosť a možnosť spúšťať analýzy na užívateľsky definovaných intervaloch hodnôt.

Kľúčové slová: aplikačný rámec, What-if analýza, hydrologický model, Floreon+, zrážko-odtokové modely, hydrodynamické modely, užívateľsky definovaných intervaloch hodnôt

Abstract

The aim of this work is to develop a general framework for the application to run What-if analysis of hydrological models with a focus on models supported by the system Floreon+. Developed framework should be adapted to run What-if analysis for rainfall-runoff models, hydrodynamic models, their interdependence and the ability to run analysis on user-defined intervals of values.

Key Words: application framework, What-if analysis, hydrological model, Floreon+, rainfall-runoff models, hydrodynamic models, user-defined intervals of values

Obsah

Zoznam použitých skratiek a symbolov	10
Zoznam obrázkov	11
Zoznam tabuliek	12
1 Úvod	14
1.1 IT4Innovations	14
1.2 Floreon+	14
2 Atmosférické a hydrologické modely	16
2.1 Atmosférické modely	16
2.2 Zrážko-odtokové modely	18
2.3 Hydrodynamické modely	21
3 Aplikačný rámec what-if analýzy v hydrológii	23
3.1 História analýzy rizík	23
3.2 Riziko	23
3.3 Riadenie rizika	24
3.4 What-if analýza	24
3.5 What-if analýza v hydrológii	24
3.6 Neistota vo what-if analýze	25
4 Špecifikácia požiadavkou	26
4.1 Prípady použitia what-if analýzy	26
4.2 Nefunkcionálne požiadavky	31
5 Analýza a návrh rámca	32
5.1 Objektová reprezentácia a schéma	32
5.2 Analýza existujúcej databázy a pripojenia do databázy	35
5.3 Porovnanie analýz a popis úprav	35
5.4 Architektúra	36
6 Implementácia navrhnutého rámca a testovanie	40
6.1 Vstupné hodnoty	40
6.2 Implementácia	43
6.3 Výstupy spočítaných simulácií	45

7	Prevedenie a vyhodnotenie experimetov pomocou implementovaného rámca	46
7.1	Prevedenie zrážko-odtokovej simulácie na povodí Ostravice	46
7.2	Prevedenie hydrodynamickej a zrážko-odtokovej simulácie na povodí Odry	48
7.3	Overenie výsledkov a testovanie	51
8	Záver	52
	Prílohy	52
A	Prílohy na CD	53
	Literatúra	54

Zoznam použitých skratiek a symbolov

.NET	– základná komponenta súboru technológií spoločnosti Microsoft, zaistujúca beh aplikáci na operačných systémoch Windows
Aladin	– Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International
ARPEGE	– Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle z Meteo France
C#	– vysokoúrovňový objektovo orientovaný programovací jazyk vyvinutý firmou Microsoft
CSS	– Cascading Style Sheets
ČHMÚ	– Český hydrometeorologický ústav
DTO	– data transfer object
ECMWF	– European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
Floreon	– Floods Recognition on the Net
GIS	– Geoinformační systémy
grid	– mriežka
HEC-HMS	– Zrážko-odtokový model vyvinutý U.S. Army Corps of Engineers
HEC-RAS	– Hydrologický model vyvinutý U.S. Army Corps of Engineers
HPC	– High performance computing
HTTP	– hypertext transfer protocol
Hydrog	– Zrážko-odtokový model vyvinutý na VUT v Brne
JavaScript	– programovací jazyk pre HTML a Web
jQuery	– JavaScriptová knižnica, ktorá kladie dôraz na interakciu medzi JavaScriptom a HTML
Linq to SQL	– Objektovo-relačné mapovanie pre .NET
Math1D	– Matematický zrážko-odtokový model vyvinutý na katedre aplikovanej matematiky, Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB - TU Ostrava
Medard	– Lokálny model pre predpovede počasia
Mono	– Voľne dostupná implementácia .NET frameworku
MS SQL	– Microsoft SQL Server databáza
PetaPoco	– Objektovo-relačné mapovanie pre .NET a Mono
PostGIS	– Geografická nadstavba nad Postgre
SOAP	– Simple Object Access Protocol, pre výmenu štruktúrovaných informácií v službách
Web Forms	– súčasť ASP.NET aplikačného webového rámcu a je súčasťou Visual Studio
XML	– Extensible Markup Language

Zoznam obrázkov

1	Zrážko-odtokový proces [13]	18
2	Schematizácia povodia [13]	21
3	Prípady použitia what-if analýzy	26
4	Implementačný pohľad	38
5	Diagram nasadenia	39
6	Vytvorenie What-if analýzy pre zrážko-odtokovú simuláciu na povodí Ostravice .	46
7	Ukážka editovaných parametrov	47
8	Ukážka hydrogramu spočítaného na modeli Math1D pre vodomernú stanicu Ostrava	48
9	Hodnoty užívateľsky definovaných zrážok pre simuláciu na povodí Odry po Opavu	48
10	Ukážka získaných hydrogramov v povodí Odry po Opavu	49
11	Ukážka hydrogramu spočítaného na modeli HEC-HMS pre vodomernú stanicu Svinov	50
12	Ukážka spočítaného rozlivu na povodí Odry po Opavu	50

Zoznam tabuliek

2	Prepočítané hodnoty definovaných zrážok na povodí Ostravice v roku 2010 . . .	47
3	Prepočítané hodnoty definovaných zrážok na povodí Odry po Opavu v roku 2010	49

Zoznam výpisov zdrojového kódu

1	Hlavička vstupného XML súboru pri zrážko-odtokovej simulácii	41
2	Príklad skráteného vstupného XML súboru použitého pri zrážko-odtokovej simulácii	42
3	Ukážka konfigurácie zrážko-odtokovej simulácie	44

1 Úvod

V súčasnej dobe sa neustále viac a viac používajú sofistikovanejšie analytické techniky založené na modeloch, ktoré simulujú vývoj prírodných javov a slúžia ako podpora rozhodovania a riadenia rizík. V tejto diplomovej práci sa budem zaoberať tvorbou rámca slúžiaceho k čo najjednoduchšiemu využitiu práve takejto analytickej metódy, využívajúcej overené modely pre výpočty a simulácie dopadov jednotlivých prírodných situácií v oblasti hydrologických modelov na spoločnosť. Cieľom je vyvinúť obecný aplikačný rámec pre spúšťanie what-if analýz hydrologických modelov s primárnym zameraním na stávajúce modely používané v systéme Floreon+, ktorý je vyvíjaný v superpočítačovom centre IT4Innovations. Tento rámec by mal byť schopný spúšťať rôzne what-if analýzy na zrážko-odtokových modeloch, hydrodynamických modeloch, vzájomne ich naviazať na seba a tiež spúšťať analýzy na užívateľom zadaných hodnotách.

1.1 IT4Innovations

Národné superpočítačové centrum (IT4Innovations) je súčasťou Vysokej školy bánskej – Technickej univerzity Ostrava. Prvý superpočítač Anselm bol inštalovaný do provizorných kontajnerov v máji 2013, jeho teoretický výpočtový výkon je 94 TFLOPs. Superpočítač Salomon, ktorý je v dobe písania tejto práce 48. najvýkonnejším superpočítačom na svete, bol sprevádzkovaný v júli 2015. Oba superpočítače sú od leta 2015 umiestnené v novej budove v porubskom areáli.

Vedľa prevádzkovania superpočítača, je IT4Innovations národné superpočítačové centrum nositeľom excelentného výskumu v oblasti IT, konkrétne v oblasti superpočítania (tzv. High Performance Computing) a zabudovaných systémov. Výskum realizuje spoločne päť subjektov: vedľa VŠB – TU Ostrava tiež Ostravská univerzita v Ostrave, Slezská univerzita v Opave, Vysoké učenie technické v Brne a Ústav geoniky Akadémie vied ČR. IT4Innovations je ďalej súčasťou prestížneho partnerstva európskych superpočítačových centier združených iniciatívou PRACE. IT4Innovations národné superpočítačové centrum vzniklo prevažne vďaka financovaniu z európskych fondov, konkrétne z Operačného programu Výskum a výskum pre inovácie [1].

1.2 Floreon+

Floreon+ je integrovaný systém využívajúci moderné technológie, ktorý vznikol ako nástroj na riešenie krízových situácií. Uľahčuje rozhodovanie v takýchto situáciách a znižuje následky škôd vďaka poskytovaniu riešení pre monitorovanie, modelovanie, predikciu a podporu riešenia krízových situácií, spôsobených nepriaznivými javmi v prírode. V súčasnej dobe je nasadený na území Moravskoslezského kraja, ale vďaka svojej modularite a otvorenosti umožňuje ľahké rozšírenie aj na ostatné regióny, ako aj doplnenie o nové oblasti simulácií, pre potreby krízového riadenia. V neposlednej rade je pre systém Floreon+ dôležité tiež včasné poskytovanie informácií o prebiehajúcej sa, alebo blížiacей sa situácii [2].

Floreon+ sa zaoberá problematikou povodní, ktorých výskyt v nedávnej minulosti v rámci oblasti Moravskoslezského kraja, ako aj iných oblastiach republiky nebol až tak zriedkavý. Dopad týchto povodní mal neraz ničivé následky a boli tak zaradované medzi najničivejšie prírodné katastrofy v rámci Českej republiky. Dôsledky týchto katastrof boli straty na životoch, vysoké škody na majetku v sume desiatok miliárd korún, ochromenie dopravnej situácie, poškodenie historických budov a iné. Príčinou povodní, ktoré sa vyskytli v roku 2009 nebola zvýšená hladina vody v riekach, ktorá by sa vyliala z korýt, ale práve veľké množstvo dažďových zrážok napadnutých v krátkej dobe na malé územie. Na základe predpovedí takýchto zrážok by bolo možné znížiť ich následky [8].

Systém sa okrem problematiky v rámci hydrologickej oblasti zaoberá aj monitorovaním znečistenia ovzdušia, ako aj dopravnou situáciou, kde sleduje jej aktuálny stav. Informácie o aktuálnom stave dopravy môžu efektívne využiť napríklad príslušníci zložiek záchranných tímov. Informácie, či už sa jedná o aktuálne merané dáta, alebo o najaktuálnejšie spracované simulácie je možné dodať užívateľovi v čo najkratšom čase vďaka úzkym napojeniam na infraštruktúru národného superpočítačového centra IT4Innovations, ktoré umožňuje rýchlejší výpočet náročných simulácií, aj súčasné spúšťanie veľkého množstva menej náročných simulácií, rovnako tak aj vysokú dostupnosť systému.

2 Atmosférické a hydrologické modely

Zrážky sú kľúčovým klimatickým prvkom pre formovanie odtoku vody z povodia. Môžu byť v rôznom skupenstve a sú primárnym zásobovateľom povodí, ale taktiež spôsobujú pohyb vody v živých, ale aj neživých zložkách tohto systému. Na množstvo odtekajúcej vody určitým uzáverovým profilom povodia majú rozhodujúci vplyv najmä atmosférické zrážky. Vzťah zrážok a odtoku nie je nikdy priamy, ovplyvňuje ho celý rad klimatických a geografických činiteľov, vrátane vplyvu človeka. Medzi predbežné faktory vplývajúce na odtok vody patria nasýtenosť povodia predchádzajúcimi zrážkami, stav snehovej pokrývky (výška snehovej pokrývky, vodná hodnota). Medzi príčinné faktory patria synoptická situácia, ako aj samotné zrážky (ich intenzita, priestorové rozloženie). Faktory, ktoré ovplyvňujú odtok vody sú najmä geológia (pukliny), reliéf (sklon, expozícia), pokrytie zeme (typy vegetácie, priepustné vs. nepriepustné povrchy), pôdne vlastnosti (retenčná kapacita, zrnitosť, rýchlosť infiltrácie), antropogénne vplyvy (vodné diela, upravenosť koryta, zavlažovanie) a pod.

V module monitorovania a predikcie povodní systému Floreon+ sa aktuálne využívajú tri typy modelov na základe ktorých je možné prevádzať simulácie. Patria sem atmosférické, zrážko-odtokové a hydrodynamické modely.

2.1 Atmosférické modely

Pre predpoveď počasia je potrebné v čase poznať najdôležitejšie veličiny, ako je teplota, vlhkosť, rýchlosť a smer prúdenia vetra v atmosfére, tlak a pod. Aby bol tento požiadavok reálny je atmosféra rozdelená na veľa malých oblastí, v ktorých sú určené požadované hodnoty. Atmosféra je fyzikálny systém, ktorého chovanie je riadené podľa základných fyzikálnych zákonov, ktoré sú vyjadrené kvantitatívne a to formou matematických rovníc. Ku základným rovniciam patrí rovnica pohybu (definuje rýchlosť podľa zmeny tlaku a vplyvu rotácie Zeme), rovnica zachovania energie (na základe zmien teploty), rovnica kontinuity (rovnováha medzi tlakom a hustotou) a iné. Preto, aby mohli byť tieto zložité rovnice efektívne riešené sú potrebné superpočítače. Po tom, ako máme tieto rovnice vyriešené sme schopný predpovedať počasie, pričom ako vstupné dáta môžeme využiť namerané hodnoty zo staníc, alebo môžeme použiť aj satelitné dáta. Základné rozdelenie týchto numerických modelov je na *globálne* a *lokálne*. *Globálne* majú vysoké rozlíšenie (približne 25 až 100km) a sú počítané až pre niekoľko desiatok vertikálnych vrstiev atmosféry. Výpočet týchto modelov prebieha pre celý svet až štyrikrát denne, každých šesť hodín. Medzi globálne modely patrí európsky model ECMWF [28] a francúzsky model ARPEGE [29]. Po tom, ako máme spočítané výsledky globálnych modelov, sme schopný použiť *lokálne* modely, ktoré na ne priamo naväzujú. Výsledky týchto modelov sú následne spresňované s využitím štatistických modelov, ktorých základom sú veľmi detailné modely, spolu s klimatickými pozorovaniami v príslušnej oblasti. Výhoda týchto modelov je väčšia geologická presnosť, ale ich hlavnou nevýhodou je dlhší čas, ktorý je nevyhnutný ku spočítaniu predpovede [3]. Časovou integráciou rovníc popisujúcich dynamiku, termodynamiku a energetiku atmosféry spočítajú predovšetkým

zložky prúdenia. Ďalej sú pomocou rôznych zložitých parametrizácií nepriamo dopočítavané ďalšie prvky ako množstvo, intenzita zrážok, oblačnosť a iné [19]. V systéme Floreon+ sú aktuálne využívané dáta z atmosférických modelov Aladin (popísaný v kapitole 2.1.1) a Medard (kapitola 2.1.2). Výpočet týchto modelov neprebieha priamo na infraštruktúre systému Floreon+, ale už spočítané výsledky sú importované zo systému tretích strán.

2.1.1 Model Aladin

Model Aladin je numerický model počasia vyvíjaný od roku 1991 v rámci medzinárodnej spolupráce pätnástich európskych a afrických štátov, vedená francúzskou poveternostnou službou, pomocou ktorého sa pripravujú krátkodobé predpovede atmosférických procesov stredného merítka. Ide o systém diferenciálnych rovníc, ktoré popisujú chovanie atmosféry na základe meteorologických meraní. Rieši sa na výkonných počítačoch numerickými (približnými) metódami. Výpočet modelu Aladin (predpoveď) prebieha tak, že najskôr sa v stredisku Météo-France vypočíta menej podrobný globálny model ARPEGE, ktorého výsledky následne model Aladin spresňuje. Geografické rozlíšenie globálneho modelu ARPEGE je 15km. Oproti tomu má model Aladin vyššie časové, aj priestorové rozlíšenie a používa presnejší popis parametrov zemského povrchu (pôdne vlastnosti, vegetačné vlastnosti, terén). Geografické rozlíšenie verzie Aladin počítanej v Českom hydrometeorologickom ústave je 4,7km. Pole veličín (tlak vzduchu, teplota) sa interpolujú z rozlíšenia ARPEGE na vyššie rozlíšenie Aladin. Vďaka tejto interpolácii sú následne pripravené dáta pre vlastný výpočet modelu (numerická integrácia). Výsledkom tohto modelu je predpoveď meteorologických prvkov na maximálne 54 hodín do budúcnosti. Medzi tieto prvky patrí predpoveď množstva zrážok, veľkosť oblačnosti, rýchlosť a smer vetra, teplota a vlhkosť vzduchu a predpoveď tlaku pri zemi, ako aj v určitej výške. Tento model spadá do skupiny lokálnych modelov, pretože je určený pre predpoveď počasia v obmedzenej oblasti (strednej Európe) [10].

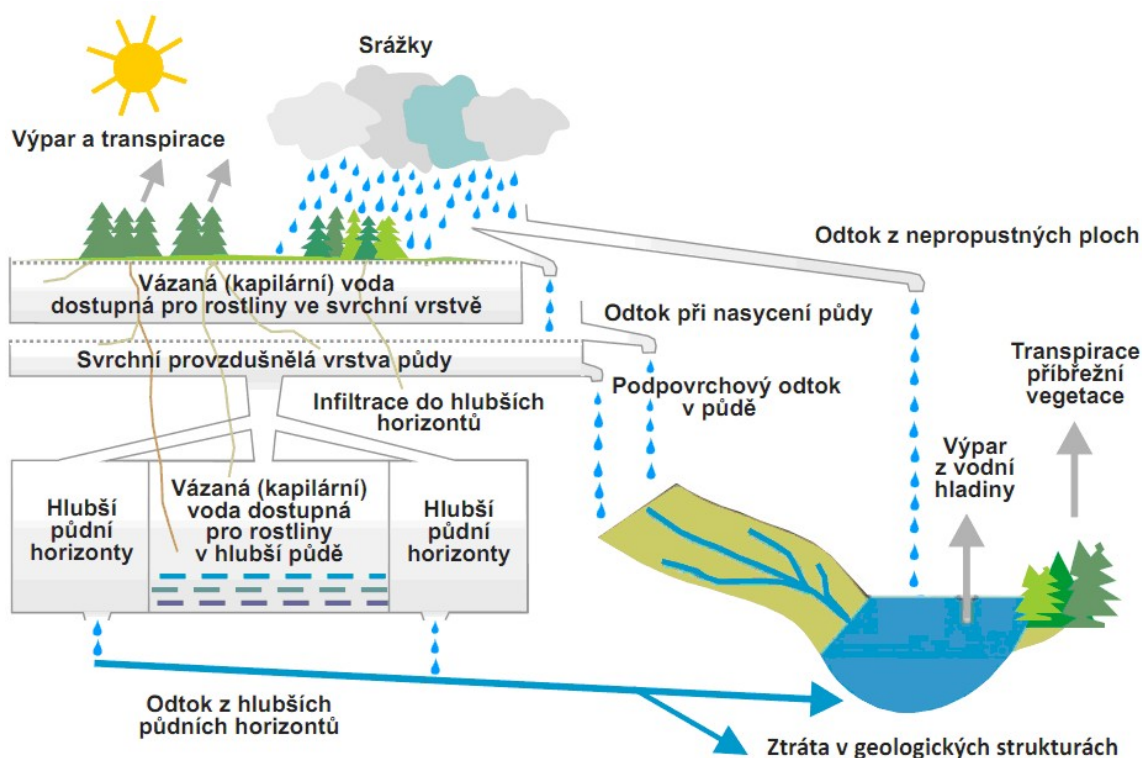
2.1.2 Model Medard

Medard je lokálny model určený pre operatívne predpovede počasia a pre predpoveď koncentrácií niektorých polutantov, najmä škodlivého troposférického ozónu. Projekt vznikol v Ústave informatiky Akadémie vied Českej republiky za podpory ďalších subjektov. Predpoveď počasia je založená na numerickom atmosférickom predpovednom modeli počasia MM5 určenom pre stredné a malé oblasti modelovania, ktorý je konfigurovaný pre Českú republiku a slúži ako jadro systému Medard. MM5 je numerický model atmosféry, využívaný pre účely predpovede počasia. Bol vyvinutý na Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research, USA a vyvíja sa od sedemdesiatych rokov. Vstupné a výstupné dáta modelu Medard sú takzvané meteorologické polia, trojrozmerné pole hodnôt v gride. Pole vstupných hodnôt obsahuje hodnoty určujúce nadmorskú výšku terénu, typ vegetácie, teplotu pôdy a pod. K najdôležitejším modelovaným hodnotám tohto modelu patria zrážky, teplota vzduchu, smer a rýchlosť

vetra, turbulencie, vlhkosť a iné. Konfigurácia modelovania MM5 pracuje na dvoch vnorených úrovniach. Prvá úroveň je rozložená na ploche väčšej ako stredná Európa, grid s rozmermi 60 x 85 má rozlíšenie 27km. Druhá úroveň sa vzťahuje na Českú republiku, kde grid s rozmermi 70 x 70 má rozlíšenie 9km. Výhodou tohto modelu, ako aj ostatných numerických modelov je tvorba meteorologických polí, ktoré môžu byť následne spracované automaticky. Predikcia môže byť spúšťaná štyrikrát denne. Model MM5 je jedným z najpopulárnejších numerických modelov, určených pre predpoveď počasia na svete. Často je tento model používaný ako generátor vstupov pre iné aplikácie [11][12].

2.2 Zrážko-odtokové modely

Zrážko-odtokové modely popisujú vplyv aktuálnych zrážok na celkový odtok z povodia. Tieto modely majú hneď niekoľko druhov delení. Vstupom modelov sú väčšinou zrážky v určitom časovom úseku a schematizácia povodia. Výstupom týchto modelov je potom vývoj výsledného odtoku z povodia, v ktorom sú zahrnuté parametre, ako je objem zrážok, ktoré stiekli do koryta rieky, príspevky jednotlivých prítokov a podzemný odtok. Na nasledujúcom obrázku 1 je znázornený zrážko-odtokový proces.



Obr. 1: Zrážko-odtokový proces [13]

Podľa účelu sa delia na modely používané v operatívnej hydrológii (vstupné dáta tvoria mimo statové veličiny tiež údaje z meteorologických staníc), modely aplikované pre návrhovú a pro-

jekčnú činnosť v oblasti vodného hospodárstva (dlhodobejšie riešenie protipovodňovej ochrany - napr. stavba priehrad, mostov) a modely využívané vo výskume (možnosť následného vývoja modelov, presnejší popis komponent modelov) [5].

Podľa stupňa kauzality (vzťah príčina - následok) sa tieto modely delia na *deterministické* a *stochastické*. O *deterministický* model sa jedná v prípade, ak sú dopredu známe vstupné parametre modelu a jeho procesy, ktoré nezahŕňujú žiadnu náhodnosť. Totožný model pre rovnaké vstupné parametre vždy podá výsledok, ktorý je ekvivalentný. O *stochastický* model sa jedná v prípade, ak sa model snaží o modelovanie náhodného javu s určitými parametrami, ktoré nie sú dopredu známe [6].

K ďalším spôsobom delenia modelov patrí delenie modelov podľa časovej diskretizácie, ktorá je určovaná najmä podľa spôsobu použitia modelu. Hodinový až denný krok je bežne používaný pre operatívne predpovede, štúdie povodní, modelovanie spôsobu šírenia znečistenia a naplavenín. V prípade bilatačných modelov môže byť dĺžka tohto kroku vyššia (týždeň, mesiac). Dôležité je tu zdôrazniť, že rôzny časový krok môžu mať aj jednotlivé časové premenné, rovnako ako sa nemusí zhodovať časový krok tých istých vstupných a výstupných veličín. Iné rozdelenie časovej diskretizácie vychádza z časovej kontinuity výpočtu. Rozlišované sú tu modely *kontinuálne* (pre dlhšie, aj niekoľkoročné obdobie) a *epizódne* (dielčie udalosti - povodne, sucho). Na veľkých územiach sú väčšinou používané *kontinuálne* modely, pretože povodne sú tam častejšie spôsobené vplyvom regionálnych dažďov. *Epizódne* modely sa na rozdiel od toho viac uplatňujú pre simulácie prívalových zrážiek postihujúcich menšie povodie [5].

Podľa spôsobu špecifikácie rozdielov medzi časťami povodia (priestorovej diskretizácie) sú modely rozdelené na *celistvé*, *distribúované* a *semi-distribúované*. *Celistvé* modely sa vyznačujú tým, že celú modelovanú oblasť abstrahujú jedinou sadou parametrov (časové rady a stavové veličiny). Na základe toho, že sa vo väčšine prípadov jedná o hodnoty merané bodovo (prietok v uzáverovom profile, zrážky na staniciach), sú tu využité najrôznejšie geoštatistické metódy pre ich prevod na plošné hodnoty. *Distribúované* modely sú modely založené na distribúovaných parametroch, ktorý bere v úvahu priestorovú variabilitu vstupných parametrov, ktoré sú následne transformované na výstupné parametre, taktiež vykazujúce priestorovú variabilitu. V tomto pojmí je povodie rozdelené gridom (štvorcovým, alebo trojuholníkovým) s maximálnou veľkosťou do jedného kilometra na elementárne odtokové plochy, pričom pre každé z týchto políčok existuje charakteristická hodnota parametrov. Princíp *semi-distribúovaných* modelov spočíva v rozdelení povodia na elementárne odtokové plochy vyznačujúce sa homogénnymi priestorovými parametrami (napr. rovnaká vegetácia a pôdny druh). Tieto modely sú neustále viac aplikované, pretože predstavujú optimálnu kombináciu predošlých dvoch typov prístupu. Dôležité je tu pri určení odtokových plôch vziať na zreteľ priestorovú distribúciu príslušných parametrov povodia, ako aj rozdelenie pôdných charakteristík, ktoré priamo ovplyvňujú odtok vody z povodia, ako napríklad topografiu, vegetáciu a pod. [5][6].

V súčasnosti sú primárne zrážko-odtokové modely v systéme Floreon+ semi-distribúované modely HEC-HMS a interne vyvíjaný experimentálny model Math1D. V systéme je tiež možné

spustiť model Hydrog pre integráciu modelov ČHMÚ a štátnych podnikov povodia.

2.2.1 Model Math1D

Model Math1D patrí medzi matematické zrážko-odtokové semi-distribúované modely s krátkodobými predpoveďami zrážok. Je vyvinutý v rámci projektu Floreon+ na katedre aplikovanej matematiky Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB – TU Ostrava. Slúži k simulácii vývoja hydrologickej situácie na kanáloch v čase pre definované schematizácie spadajúce do vybraného povodia. Okrem metódy pre výpočet efektívnych zrážok využíva aj metódu kinematickej vlny pre výpočet vplyvu príspevkov vody z príslušných prítokov v čase a jednotkového hydrogramu pre rozloženie vplyvu efektívnych zrážok na odtok z povodia v rámci definovaného intervalu v čase [6][7].

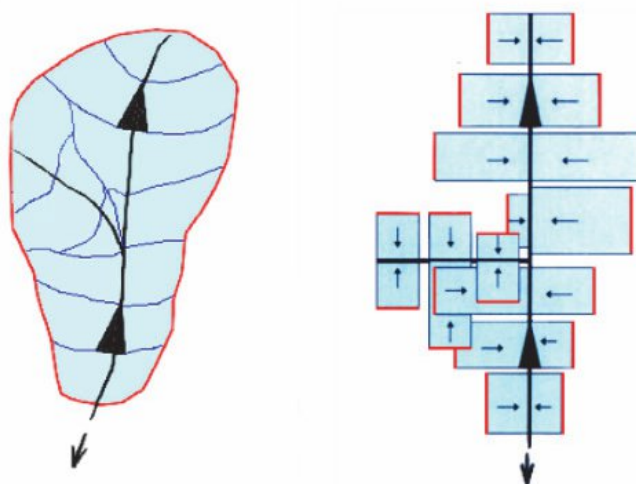
2.2.2 Model HEC-HMS

Model HEC-HMS je navrhnutý pre simuláciu celého hydrologického procesu v povodí. Umožňuje modelovanie povodňových škôd, štatistické spracovanie dát, modelovanie ekosystému, hydrodynamické modelovanie, simulácie nádrží. Umožňuje manuálnu a tiež aj automatickú kalibráciu parametrov. Je vyvíjaný od šesťdesiatych rokov minulého storočia armádou USA, od deväťdesiatych rokov vznikla samostatná vývojová vetva – model WMS (Water Modelling System), ktorý je dnes vyvíjaný komerčne. HMS je celistvý model so sústredenými parametrami. Niektoré vstupy môžu byť distribuované (napr. infiltračná metóda SCS CN). Medzi komponenty tohto modelu patrí napríklad model pre výpočet objemu odtoku, model priameho odtoku, meteorologický model, korytový model, model podzemného odtoku [9].

2.2.3 Model Hydrog

Autorom tohto modelu je profesor Miloš Starý z VUT v Brne a jeho vývoj prebieha od roku 1991. Je to zrážko-odtokový distribuovaný model určený k simulácii povodňových situácií v povodí, vydávaniu operatívnych predpovedí prietoku v riečnej sieti povodí a operatívneho riadeniu vodohospodárskych diel. Využíva sa najmä na výpočet zrážko-odtokových predpovedí. V ČHMÚ je tento model používaný pre výpočty situácie riečnej siete, ktoré sú spracovávané pre povodie Moravy a Odry na pracoviskách v Ostrave a Brne [13].

Na obrázku 2 schematizácie povodia, ktorá je využitá pri tomto modeli predstavujú hrany kanály riečnej siete, uzly riek sú reprezentované pomocou vrcholov, ktoré môžu reprezentovať aj merné stanice a jednotlivé plochy tu reprezentujú subpovodia. Plochy v grafe, ktoré sú schematizované zachovávajú veľkosť plochy pre dané povodie, ktoré je dané svojimi parametrami. Tento model v prípade zrážko-odtokového modelovania počíta s počiatočnou stratou spôsobenou infiltráciou. Zvyšné zrážky následne vytvárajú plošný odtok stekajúci z povodia do kanálov a pre jeho transformáciu je použitý jednotkový hydrogram. Z plošného odtoku je zložený povrchový odtok, ktorý obsahuje aj tok koncentrovaný v kanáloch riečnej siete. Vstupnými dátami modelu



Obr. 2: Schematizácia povodia [13]

sú teda údaje o prietokoch, riadených odtokoch z vodných nádrží a zrážkach, v zime tiež údaje o teplote a výške snehovej pokrývky. Tento model je navrhnutý tak, aby nevyžadoval nepretržitú prevádzku a bolo ho tak možné spustiť v prípade, že nastali povodne. Začiatok výpočtu spúšťaného na modeli Hydrog musí začínať v období, kedy sa nevyskytovali zrážky pred vznikom povodní. Spustený algoritmus, začínajúci v dobe ustáleného prúdenia na základe historických dát simuluje prietok vo všetkých častiach povodia, kedy musia byť známe aj výšky hladín v príslušných vodných nádržiach a následne spočíta predpoveď prietoku v jednotlivých profiloch riečnej siete v budúcnosti [13].

2.3 Hydrodynamické modely

Hydrodynamika je štúdiá zaoberajúca sa pohybom kvapalín, najmä vody. Hydrodynamický model je nástroj, ktorý je schopný popísať, alebo reprezentovať pohyb vody. Pred príchodom široko dostupných počítačových systémov, hydrodynamický model mohol byť fyzikálny model postavený na mierke. Avšak prakticky všetky hydrodynamické modely používané v súčasnosti sú výpočetné numerické modely.

S technologickým vývojom numerických modelov spolu s pokročilými výpočtovými systémami, hydrodynamické modelovanie sa stalo súčasťou širšej oblasti výpočtovej dynamiky tekutín. Preto hydrodynamické modely súvisia s modelmi vytvorenými pre meteorológiu, letectvo a dopravu a pod. Spoločným základom pre tieto činnosti v oblasti modelovania je numerické riešenie rovníc, ktoré sa riadia pravidlom zachovania hybnosti a hmoty v tekutine.

Hydrodynamické modelovanie sa odlišuje od ostatných špecializácií výpočtovej dynamiky tekutín tým, že sa zameriava na pohyb vody. Tieto modely sú vyvinuté za účelom simulácie toku vody a jej príslušných zmien, ako aj následného modelovania rozsahu povodní v záplavových oblastiach.

V našom prípade nás v oblasti hydrodynamického modelovania zaujímajú najmä cieľové parametre, ako sú výpočty výšky hladiny vody, rýchlosti prúdenia a kvantifikácia šírenia povodne. Ako jediný aktuálne používaný hydrodynamický model (1D) zakomponovaný v systéme Floreon+ je HEC-RAS. V budúcnosti sa tu plánuje zapojenie aj 2D modelov.

2.3.1 Model HEC-RAS

HEC-RAS je model hladinového režimu v otvorených korytách s cieľom získania základnej predstavy o chovaní riečnej siete pri príchode povodňových vôd, určený pre interaktívne použitie v multi-taskingovom prostredí. Umožňuje výpočet nerovnomerného prúdenia v otvorených korytách v ustálenom, aj neustálenom režime. Významné sú jeho možnosti výpočtu objektov na toku, priečných, aj pozdĺžnych stavieb. Umožňuje numerickú simuláciu stromových sietí a okružných riečnych systémov. Slúži ako štandardný prostriedok k protipovodňovej ochrane. Systém je zložený z grafického rozhrania, oddelených analytických komponent, úložiska dát, funkcií pre správu, grafických zobrazení a zariadenia pre podávanie správ. Systém HEC-RAS obsahuje štyri jednorozmerné komponenty analýzy riek pre:

- ustálené výpočty prietoku povrchovej vody určitým profilom
- prechodné simulácie prúdenia
- výpočty pohyblivých hraníc prepravných sedimentov
- analýzu kvality vody

Kľúčovým prvkom je, že všetky štyri zložky používajú spoločnú geometrickú reprezentáciu dát a spoločné geometrické a hydraulické prostredie výpočtov. Okrem štyroch zložiek riečnej analýzy, systém obsahuje niekoľko hydraulických návrhových vlastností, ktoré môžu byť spustené ako náhle sú spočítané základné profily povrchovej vody. Tento model bol vyvinutý v Hydrologic Engineering Center US Army Corps of Engineers.[14]

3 Aplikačný rámec what-if analýzy v hydrológii

V tejto časti je popísaná história analýzy rizík, ktorá priamo súvisí so vznikom what-if analýz. Je tu načrtnutá definícia rizika a vysvetlené dôvody, prečo sa snažíme o riadenie týchto rizík. Stručne je tu popísaný obecný postup vytvárania what-if analýzy. Detailnejšie je tu popísaná forma what-if analýz s primárnym zameraním na oblasť hydrológie a popisom neistôt v tejto oblasti, ktorým sa tu nie je možné vyhnúť.

3.1 História analýzy rizík

Riziková analýza je pomerne krátko používaná a jej vznik sa pripisuje v období po druhej svetovej vojne. S rizikovou analýzou má veľa podobných znakov teória spoľahlivosti, ktorá je rozvíjaná v rovnakej dobe. V začiatkoch je cítiť náklonnosť najmä k využívaniu deterministických modelov, ktoré používajú matematické a štatistické metódy, avšak po určitej dobe už tieto modely nie sú dostačujúce a začínajú sa uplatňovať nové analytické metódy, podobajúce sa viac technikám používaným v súčasnosti v oblasti teórie rizikovej analýzy, čo bolo umožnené vďaka rozvoju technológií. Tieto metódy nám slúžia k zaisteniu toho, že pri daných podmienkach je navrhnutý systém s vysokou pravdepodobnosťou spoľahlivý a počas celej predpokladanej doby životnosti bude schopný plniť definované funkcie. K rizikovej analýze sa v sedemdesiatych rokoch minulého storočia pridáva tiež rozvoj teórie a metód krízového riadenia a plánovania. V oblasti hydrologických rizík sa krízová analýza začína využívať až v deväťdesiatych rokoch. V Českej republike sa významne rozvíja po povodniach v roku 1997 a postupne tu preberá európske a svetové trendy. Napriek vývoju a zdokladovaným metodikám nie je teória pre rizikovú analýzu jednotná a rovnako to platí aj pre terminológiu [18].

3.2 Riziko

Pre termín riziko existuje v súčasnosti veľmi veľa definíc. Dá sa definovať ako možnosť, kedy s určitou pravdepodobnosťou a za určitých podmienok nastane udalosť, ktorá sa odlišuje od predpokladaného stavu, alebo vývoja. Môže to byť nebezpečenstvo vzniku škody, poškodenia, zničenia, alebo straty. V hydrológii sa pojem riziko spája najmä s pravdepodobnosťou, že nastanú povodne a dopadom, ktorý môžu spôsobiť. Říha a kolektív [25] vo svojej publikácii uvádza, že riziko sa skladá z troch zložiek, ktorými sú nebezpečenstvo (hrozba javov, ktorá vyvolá straty), zraniteľnosť (náchylnosť objektu k poškodeniu) a expozícia (časový úsek, v ktorom je daný objekt vystavený nebezpečenstvu). Tvrdí, že pre existenciu rizika musia byť obsiahnuté všetky tieto tri zložky, pričom miera rizika rastie s väčším nebezpečenstvom, dlhšou dobou expozície a vyššou zraniteľnosťou, či už prostredia, alebo objektov v tomto prostredí [18].

3.3 Riadenie rizika

Táto oblasť riadenia sa zameriava na analýzu a zníženie rizika s využitím rôznych metód a techník určených pre prevenciu rizík, ktoré eliminujú už existujúce, alebo odкрývajú budúce faktory, ktoré toto riziko zvyšujú. Opakuje sa tu sada vzájomne previazaných aktivít, ktoré sa pokúšajú obmädzíť pravdepodobnosť výskytu rizika, resp. riadiť tieto riziká a takto zamedziť vzniku problémov a negatívnych javov. Riadenie rizík je zložené zo štyroch fáz, ktoré sú spolu vzájomne previazané, konkrétne je to fáza identifikácie rizika, fáza zhodnotenia, fáza zvládnutia (zmiernenia) a fáza samotného monitoringu [17].

3.4 What-if analýza

What-if (čo-keď) analýza [16] je analytická technika používaná pri rozhodovaní a riadení rizík. Jej princíp je postavený na hľadaní možných dopadov vybraných situácií. Vo všeobecnosti sa tu hľadajú vplyvy konania, či procesov a opatrenia proti týmto vplyvom. Tento typ analýzy môže byť tiež využitý ako metóda, pre dôkladné preverenie a systematické preskúšanie procesu, alebo činnosti pomocou otázok, ktoré začínajú "čo ak". Je to veľmi flexibilný prostriedok, ktorý sa môže prispôbiť konkrétnemu účelu. Postup what-if analýzy:

- definovanie oblasti záujmu
- definovanie cieľových záujmov problémov (napr. enviromentálne problémy, bezpečnosť a pod.)
- tvorba otázok (ak niečo)
- generovanie odpovedí (čo sa stane)
- tvorba opatrení pre situácie (rozhodnutia, opatrenia)

V praxi sa jedná o systematickú, ale nie prísne štruktúrovanú analytickú techniku, ktorá hľadá potenciálne problémy, riziká a hľadá opatrenia na ich nápravu. Jej využitie je univerzálne a výstupom je opis potenciálnych problémov, poprípade zoznam nebezpečných situácií (rizík) a tiež odporúčania ako im predchádzať.

3.5 What-if analýza v hydrológii

Povodne patria medzi najväčšie potenciálne hydrologické riziká, ktoré môžeme na našom území očakávať. Riziková analýza zaoberajúca sa záplavovými územiami, ktoré sú ohrozené povodňami môže byť proces, v ktorom zhromaždíme všetky dostupné dáta a informácie, na základe ktorých sa určí miera nebezpečenstva novej povodne pre danú oblasť. Riziková analýza týchto území, ohrozených záplavami sa skladá zo štyroch krokov.

Najskôr je dôležité získať dostatok dát, potrebných k vytipovaniu najviac ohrozených lokalít potenciálnymi povodňami. Definujú sa tu možné pohyby povodňovej vlny a načrtnú sa riešenia

pre zníženie rizika. Účelom tejto prípravnej fázy je identifikovať riziko povodní. S touto fázou je spojené aj označenie potenciálne povodňové nebezpečenstvo, ktoré pomocou jednotlivých charakteristík popisuje mieru povodňového nebezpečenstva (napríklad intenzita povodne).

V ďalšej fázy sú identifikované prvky systému, čo sú v tomto prípade objekty protipovodňovej ochrany, cestné a železničné mosty, budovy, stavby a iné prvky infraštruktúry s cieľom ovplyvniť priebeh povodňovej vlny. Po tom, ako máme všetky tieto prvky identifikované nasleduje ich zhodnotenie a určenie do akej miery sú schopné ovplyvniť priebeh povodňovej vlny.

Bod číslo tri slúži pre kvalitatívne hodnotenie rizika, pričom sú tu analyzované funkčné vzťahy medzi jednotlivými prvkami systému obsiahnutých v predošlom bode.

V poslednom bode dochádza ku kvantifikácii a realizácii analýzy dôsledkov konečných stavov systému. Konkrétne sa tu kvantifikuje povodňové nebezpečenstvo (s využitím matematických modelov, kde výstupom sú mapy povodní), určuje miera zraniteľnosti (kde sa kategorizuje záplavové územie), hodnotí expozícia (na základe súčtu dielčích škôd) a kvantifikuje riziko (dostávame tu konkrétnu číselnú hodnotu, ktorá určuje riziko v danej lokalite a prípadne aj grafický výstup) [18].

3.6 Neistota vo what-if analýze

V celom procese prestupuje istý stupeň neistoty, ktorá je súčasťou riadenia rizika a ktorej vplyv sa musí zohľadniť pri výsledku tejto analýzy. Jedna z definícií stupňa neistoty je popísaná ako výskyt udalostí, ktoré sa nachádzajú mimo úplnej kontroly riešiteľov. Táto neistota môže byť prevádzková neistota, neistota spôsobená náhodnosťou prírodných procesov, alebo neistota spätá s modelmi (ktoré sú zjednodušením skutočného sveta a preto je tu nevyhnutelný výskyt neistoty). Iné delenie neistôt ich delí na inherentné a neistoty poznania. Inherentné neistoty nie je schopný človek nijako ovplyvniť, pretože je priamo spojená s náhodnosťou sveta a môže to byť neistota v čase (doba do povodne), alebo priestore (súvisiaca so zmenami prostredia). Neistota poznania je spojená s nedostačujúcimi znalosťami a nedostatkovými dátami o danom jave, ktorá je zložená z neistoty modelov (zjednodušujúcich realitu) a neistoty v stanovení vstupných parametrov (dáta). Miera neistoty sa pri dlhodobom podrobnom skúmaní znižuje [18].

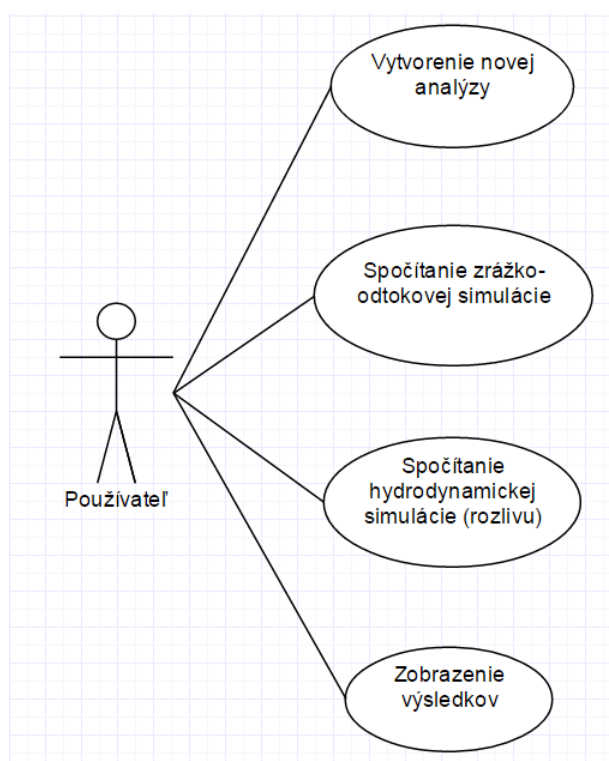
4 Špecifikácia požiadavkou

Pred tým, ako bude samotný rámec vyvinutý je dôležité špecifikovať si jeho požiadavky. V tejto kapitole sú popísané základné služby (funkcie), ktoré má systém obsahovať a spôsob, akým majú byť tieto služby poskytované, vrátane podmienok a obmedzení.

Základným účelom tohto rámca je jednoduché spúšťanie what-if analýz na dostupných modeloch, ktorý musí umožňovať návaznosť medzi jednotlivými modelmi. Užívateľ si je vďaka nemu schopný jednoduchým spôsobom vytvoriť vlastnú what-if analýzu, pre ktorú si môže definovať vlastné parametre určené pre výpočet, vrátane definovaných hodnôt predikovaných zrážok. Po tom, ako je táto analýza vytvorená je možné počítať zrážko-odtokovú a hydrodynamickú simuláciu a dospieť tak k prehľadným, užívateľsky interpretovaným výsledkom. Na základe získaných výsledkov rámec pomôže užívateľovi identifikovať jednotlivé riziká a vyvodiť tak patričné rozhodnutia.

4.1 Prípady použitia what-if analýzy

Na nasledujúcom obrázku 3 sú znázornené štyri hlavné prípady použitia, ktoré musí systém obsahovať. Systém užívateľovi umožní nadefinovať vlastné hodnoty pre what-if analýzu na základe ktorých spočíta zrážko-odtokovú a prípadne aj hydrodynamickú simuláciu. Následne umožní užívateľovi zobrazíť výsledky týchto simulácií.



Obr. 3: Prípady použitia what-if analýzy

UC1: Vytvorenie novej analýzy

Popis: Používateľ môže vytvoriť novú what-if analýzu. Pre vytvorenie novej analýzy musia byť prístupné schematizácie povodí. Užívateľ zadá vlastný názov analýzy, zvolí si povodie, s ktorým bude pracovať a schematizáciu spadajúcu do tohto povodia, počiatočný dátum a čas odkedy sa začnú brať namerané hodnoty, zvolí dĺžku predpovedi v hodinách, modely, nad ktorými chce simuláciu spočítať a po prípade stanice, pre ktoré určí užívateľsky definované zrážky.

Hlavný účastník: Používateľ

Spúšťač: Používateľ chce vytvoriť what-if analýzu v určitej oblasti pre zvolené časové rozpätie.

Predpoklady: Užívateľ je prihlásený a sú prístupné namerané hodnoty pre dané stanice.

Úspech zaručuje: what-if analýza je vytvorená a pripravená pre ďalšiu prácu.

Hlavný scenár:

1. Užívateľ si v prehliadači otvorí stránku pre vytvorenie novej analýzy.
2. Systém zobrazí užívateľovi predvyplnený formulár s dostupnými povodiami načítanými z hydrologickej databázy. Počiatočný dátum a čas nastaví na aktuálnu hodnotu zaokrúhlenú na celé hodiny a dĺžku predpovede nastaví na predvolenú hodnotu. Takisto zobrazí dostupné atmosférické modely pre simuláciu.
3. Užívateľ vyplní vlastný názov analýzy, zvolí povodie, ku ktorému sa simulácia bude vzťahovať a môže zmeniť dátum a čas pomocou zobrazeného kalendára, alebo priamou zmenou hodnoty. Taktiež môže upraviť dobu predpovedi, ktorú bude chcieť spočítať potiahnutím posuvníka.
4. Systém na základe zvoleného povodia načíta dostupné zrážko-odtokové modely, ktoré je možné spúšťať na schematizáciách patriacich do vybraného povodia.
5. Užívateľ si vyberie jeden zo zrážko-odtokových modelov, na ktorom chce počítat zrážky.
6. Systém potom, ako si užívateľ vybral príslušný zrážko-odtokový model načíta všetky dostupné schematizácie patriace do vybraného povodia, na ktorých je možné tento model spustiť.
7. Užívateľ si vyberie jednu z dostupných schematizácií.
8. Systém následne vyplní všetky príslušné parametrizácie subpovodí a kanálov na základe predvolených hodnôt nastavených v databázi a umožní ich užívateľovi editovať.

9. Užívateľ po kliknutí na tlačidlo pre editáciu hodnôt môže tieto hodnoty editovať. V prípade užívateľsky definovaných zrážok môže užívateľ vlastnoručne zadať rozsah zrážok, pre ktoré zadá im prislúchajúce časové rozpätie a musí k zadaným hodnotám vybrať aj im určené merajúce stanice, ktoré spadajú do zvoleného povodia. Taktiež si môže určiť atmosférický model použitý pri výpočte.
10. Systém v prípade korektne editovaných hodnôt tieto hodnoty zaznamená a zvýrazní zelenou farbou. V opačnom prípade je užívateľ informovaný o nekorektne zadanej hodnote, ktorá je medzi ostatnými hodnotami parametrov zvýraznená červenou farbou. Systém použije zrážky zadané užívateľom, ak užívateľ tieto zrážky definoval, v opačnom prípade použije dostupné dáta o zrážkach pre stanice namerané vo zvolenej oblasti s dopyčítanými hodnotami na základe vybraného atmosférického modelu.
11. Užívateľ klikne na tlačidlo pre uloženie analýzy.
12. Systém uloží analýzu.

Alternatívny scenár:

- 3a. Užívateľ nevyplnil názov pre analýzu a je teda vygenerovaný implicitný názov, ktorý je zložený z vybraného zrážko-odtokového modelu a aktuálneho času.

UC2: Spočítanie zrážko-odtokovej simulácie

Popis: Používateľ môže z vytvorenej simulácie na základe zvoleného modelu spočítať zrážko-odtokovú simuláciu.

Hlavný účastník: Používateľ

Spúšťač: Používateľ, chce spočítať simuláciu pre vytvorenú what-if analýzu s použitím zvoleného zrážko-odtokového modelu.

Predpoklady: Sú dostupné všetky potrebné dáta spočítané určitým atmosférickým modelom.

Úspech zaručuje: Simulácia je spočítaná a pripravená pre grafické zobrazenie v hydrogramoch.

Hlavný scenár:

1. Systém ponúkne užívateľovi zoznam vytvorených simulácií.
2. Užívateľ si zvolí jednu z dostupných nespočítaných simulácií.

3. Systém umožní uživateli spočítat zrážko-odtokovou simuláciu.
4. Užívateľ klikne na tlačidlo pre spočítanie simulácie.
5. Simulácia je následne spočítaná pre všetky príslušné stanice a pripravená pre grafické zobrazenie. V prípade užívateľsky definovaných zrážok určených rozpätím zrážok sú výstupy spočítané aj pre prepočítané hodnoty zrážok na základe nadefinovaných kvantilov. Výsledky sú uložené do databázy.

Alternatívny scenár:

- 2a. Užívateľ si nevybral z ponuky dostupných simulácií, ale chce si vytvoriť novú simuláciu a pokračuje podľa UC1 4.1.
- 3a. Systém umožní užívateľovi spočítat okrem zrážko-odtokovej aj hydrodynamickú simuláciu.
- 4a. V prípade, ak chce užívateľ spočítat aj hydrodynamickú simuláciu, pokračuje podľa UC3 4.1.

UC3: Spočítanie hydrodynamickej simulácie (rozlivu)

Popis: Používateľ môže spočítat rozliv pre vytvorenú simuláciu. Pre spočítanie simulácie si musí vybrať z ponuky existujúcich modelov.

Hlavný účastník: Používateľ

Spúšťač: Používateľ, chce spočítat simuláciu na základe vytvorenej simulácie a spočítanej zrážko-odtokovej simulácie.

Predpoklady: Užívateľ má vytvorenú a spočítanú zrážko-odtokovú simuláciu.

Úspech zaručuje: Hydrodynamika je spočítaná a pripravená pre ďalšie použitie.

Hlavný scenár:

1. Systém ponúkne užívateľovi zoznam vytvorených zrážko-odtokových simulácií.
2. Užívateľ si pre výpočet rozlivu vyberie jednu z dostupných simulácií.
3. Systém ponúkne užívateľovi výber hydrodynamického modelu pre spočítanie hydrodynamickej simulácie.

4. Užívateľ si vyberie z dostupných modelov pre výpočet hydrodynamickej simulácie a klikne na tlačidlo pre spočítanie hydrodynamickej simulácie.
5. Systém najskôr spočíta zrážko-odtokovú simuláciu a na základe jej výsledkov spočíta jednotlivé rozlivy na kanáloch pre hydrodynamickú simuláciu. V prípade výpočtu rozlivu z užívateľsky definovaných hodnôt sa rozlivy spočítajú pre jednotlivé zadané časové intervaly prislúchajúcich spočítaným zrážko-odtokovým simuláciám v zadaných intervaloch zrážok.

Alternatívny scenár:

- 2a. Užívateľ chce spočítať novú simuláciu pokračuje UC1 4.1.
- 3a. Pre zvolenú simuláciu nie je dostupný hydrodynamický model určený pre výpočet simulácie. Systém užívateľovi umožní spočítať zrážko-odtokovú simuláciu a pokračuje sa na UC2 4.1. Inak výpočet končí.

UC4: Zobrazenie výsledkov

Popis: Používateľ si chce graficky zobrazit spočítanú what-if analýzu v grafoch, alebo na mape.

Hlavný účastník: Používateľ

Spúšťač: Používateľ si chce graficky zobrazit spočítanú simuláciu vypočítanú zo zvolených modelov v grafoch, alebo na mape.

Predpoklady: Je spočítaná zrážko-odtoková a v prípade rozlivu aj hydrodynamická simulácia.

Úspech zaručuje: Užívateľovi je poskytnutý grafový výstup simulácie a v prípade rozlivu je na mape znázornená vrstva rozlivu odpovedajúca spočítaným simuláciám vo zvolenom čase.

Hlavný scenár:

1. Systém zobrazí užívateľovi zoznam vypočítaných simulácií. V prípade spočítaného rozlivu, ktorý je počítaný z užívateľsky definovaného rozmedzia hodnôt pre časové intervaly je užívateľovi poskytnutá možnosť vybrať si jeden z výsledkov prislúchajúcich vybranému času.
2. Užívateľ si vyberie z ponuky vypočítaných simulácií pre zobrazenie a definuje si, či chce zobrazit hydrogramy, alebo v prípade rozlivu, zobrazit rozliv na mape a prípadne vyberie 1 z výsledkov prislúchajúci konkrétnemu času.

3. Systém uživateli poskytne grafové výstupy pre vybranú spočítanú simuláciu a jednotlivé stanice prislúchajúce do vybraného povodia. V prípade užívateľsky definovaných zrážok určených rozpätím zrážok sú dostupné pre grafické zobrazenie grafy spočítané aj pre intervaly patriace do tohto rozpätia. V prípade rozlivu je užívateľovi zobrazená vrstva na mape odpovedajúca výsledku spočítaných simulácií, ktoré sa počítajú na základe šablóny zvolenej užívateľom.

4.2 Nefunkcionálne požiadavky

Dostupnosť - rámec pre výpočty analýz musí byť dostupný z webového prehliadača minimálne v rámci intranetu. Rozhranie musí byť dostupné v prípade silných zrážok a hroziacich povodní, kedy je spúšťanie simulácií najpodstatnejšie.

Bezpečnosť - systém musí mať dostatočne zabezpečenú databázu a musí byť odolný voči SQL injection a podobným útokom cieľovým na získanie dát z databázy. Musí tiež odchyťovať a logovať chybné stavy.

Výkonnosť a škálovateľnosť - rámec what-if analýzy nemôže výrazne spomaliť počítanie simulácii na superpočítači a ich výkon musí ostať na podobnej úrovni, ako bez použitia rámca. Rámec bude založený na spúšťaní simulácií s prepojením na stávajúce riešenia pomocou služieb a odkazov a bude slúžiť ako zásuvný modul, ktorý je možné s týmito riešeniami priamo spojiť.

Kapacita - rámec musí byť schopný obslúžiť niekoľko užívateľov súčasne so zachovaním stávajúcich možností pre spúšťanie simulácií.

Rozšíriteľnosť - rámec musí byť jednoducho rozšíriteľný a tiež musí umožňovať jednoduché zakomponovanie nových modelov do systému. Systém musí v prípade potreby umožňovať jednoduché pripojenie na nové databázy.

Kompatibilita - rámec založený na požadovanom rozhraní s použitím platformy .NET musí byť schopný pripojenia a interakcie s Windows a Linux HPC klastrom pomocou webových služieb.

Zálohovanie - dáta z používanej databázy musia byť zálohované minimálne raz za týždeň počas najnižšieho systémového vyťaženia.

Štandardy - systém bude podporovať existujúce webové štandardy (XHTML, CSS, jQuery, XML a pod.)

5 Analýza a návrh rámca

Požadovaný rámec musí obsahovať prvky pre vytvorenie analýzy, kde si je užívateľ schopný definovať názov vytvorenej analýzy, editovateľný prvok, kde si môže jednoducho navoliť, alebo nakliknúť dátum a čas od ktorého je analýza následne počítaná. Jednoduchým posuvom myši si tu je schopný nastaviť dĺžku predpovede, ktorá sa bude počítať na základe predpovedných atmosférických modelov, maximálne na štyri dni dopredu, od zadaného dátumu a času spustenia simulácie. V prípade potreby si môže nadefinovať vlastný rozsah zrážok a určiť im odpovedajúcu dobu. Rámec by mal obsahovať možnosť voľby, či užívateľ chce vyplnenú simuláciu iba uložiť, spočítať vrátane zrážko-odtokovej simulácie, alebo spočítať zrážko-odtokovú simuláciu a z nej vyplývajúcu hydrodynamiku.

V prípade, že si užívateľ hydrologickú simuláciu iba uložil bez následných výpočtov, rámec mu musí umožniť túto uloženú simuláciu následne dopočítať. V prípade nasledujúceho počítania mu bude taktiež umožnené vybrať si, či ju chce spočítať vrátane hydrodynamickej simulácie, alebo bez nej.

Hneď po tom, ako je užívateľ informovaný o spočítanej simulácii, môže si zobrazíť spočítané výsledky. V prípade zrážko-odtokovej simulácie sú užívateľovi zobrazené jednotlivé hydrogramy, vrátane možnosti voliť si medzi nimi a zobrazíť detailný popis zvoleného hydrogramu. Ak je spočítaná aj hydrodynamická simulácia, užívateľovi je zobrazený aj rozliv na mape.

5.1 Objektová reprezentácia a schéma

Objektovú dátovú štruktúru pre spúšťanie what-if analýz hydrologických modelov s primárnym zameraním na modely podporované systémom Floreon+ je tvorená jednotlivými triedami. Ich objekty reprezentujú konkrétne modely (atmosférické, zrážko-odtokové a hydrodynamické), užívateľsky definované hodnoty, stanice, kanály, povodia, subpovodia a ďalšie údaje nevyhnutné pre spúšťanie what-if analýz. Relačný dátový diagram, ktorý popisuje triedy potrebné pre what-if analýzu spúšťaní nad hydrologickými modelmi je uvedený v neverejnej časti diplomovej práce.

V tejto časti stručne popíšem význam najdôležitejších tried obsiahnutých v relačnom dátovom modeli, potrebných pri výpočte zrážko-odtokovej a hydrodynamickej simulácie. Jednotlivé triedy môžu predstavovať zdrojové dáta, potrebné pri prevedení výpočtov, popisné dáta oblasti, ku ktorej sa daná simulácia vzťahuje, alebo samotné výsledky výpočtov simulácie.

- **Basin** - v tejto triede sú obsiahnuté všetky povodia, pre ktoré je možné spúšťať simulácie. Povodie predstavuje najširšiu charakterizáciu oblasti, ku ktorej sa simulácia vzťahuje a je rozdelené na subpovodia. V systéme Floreon+ je aktuálne možné prevádzať simulácie nad povodiami v oblasti moravskoslezského kraja, medzi ktoré patria Odra po Opavu, Opava od Moravice po ústí, Ostravice, Olše. Tieto povodia sú ďalej rozčlenené na subpovodia.
- **BasinSchema** - schematizácie popisujú jednotlivé povodia komplexnou štruktúrou elementov obsiahnutých v tomto povodí a jeho vlastnosťami. Schematizácie teda slúžia ako

základný prvok, použitý pri spúšťaní simulácie. Každá schematizácia prislúcha pod určité povodie a má nastavené dostupné zrážko-odtokové modely, ktoré je možné spúšťať nad týmito schematizáciami. Pod každé povodie spadá hneď niekoľko týchto schematizácií, ktoré toto povodie definujú.

- **Channel** - kanály patriace k jednotlivým schematizáciám povodí sú kostrou tejto štruktúry a slúžia ako primárne prvky v povodí určené k odvodu zrážok, ktoré sem stekajú zo zemského povrchu. Kanály sú určené komplexnou štruktúrou parametrov, ktoré tieto povodia definujú a medzi ktoré patrí napríklad pozdĺžny sklon koryta kanálu, sklon brehu, dĺžka kanálu, hĺbka a šírka koryta a podobne.
- **ChannelParameter** - táto trieda slúži pre uloženie parametrizácií kanálov, ktoré sa definujú pri vytváraní what-if analýzy. Keďže povrch a parametre kanálov sa v prírode neustále menia vplyvom prírodných javov, ako aj ľudských zásahov, je nutné tieto zmeny zaznamenávať.
- **Station** - stanica môže byť buďto reálna, ktorá fyzicky existuje a poskytuje dáta, napríklad o nameraných prietokoch na kanáli, alebo virtuálna (umelo vytvorená), slúžiaca pre zjednodušenie výpočtového modelu. Začiatok a koniec kanálov je ohraničený práve hydrologickými stanicami, ku ktorým sa vzťahujú tieto namerané dáta. Jednotlivé stanice sú označované unikátnym kódovým označením, ktoré sa môže odvíjať napríklad od polohy stanice, rovnako ako jej názov. Stanice môžu poskytovať údaje o zrážkach, údaje o teplote a údaje o výške vodnej hladiny.
- **Subbasin** - subpovodia sú jednotlivé odtokové plochy spadajúce pod určité povodie, z ktorých stekajú zrážky do odpovedajúceho kanálu. Každé subpovodie spadá pod určitú schematizáciu povodia a obsahuje určitý typ mernej stanice. Povodie je určené svojimi parametrami, ako je jeho plocha, dĺžka najdlhšej trasy, kade stekajú zrážky z tohto subpovodia do kanálu, sklon subpovodia, jeho nadmorská výška šírka a hodnoty rôznych koeficientov.
- **SubbasinParameter** - táto trieda obdobne ako trieda parametrizácií kanálov slúži k zaznamenávaniu jednotlivých parametrov simulácie pre dané subpovodie, ktoré sa môžu v čase meniť. Hodnoty týchto parametrov sa teda môžu odlišovať od prednastavených hodnôt parametrov, uložených na jednotlivých kanáloch.
- **RainfallRunoffModel** - zrážko-odtokový model použitý pri spustení simulácie. Je definovaný pre jednotlivé schematizácie, na ktorých môže byť spustený. Medzi najčastejšie používané zrážko-odtokové modely v systéme Floreon+ patria modely HEC-HMS a Math1D.
- **HydrodynamicModel** - hydrodynamický model, použitý v prípade počítania hydrodynamickej simulácie, ktorý je možné spúšťať len pre určité povodia, pričom na každom povodí môže byť predvolený maximálne jeden hydrodynamický model.

- **AtmosphericModelDataProvider** - distribuovaný atmosférický model, ktorý umožňuje predpovedať zrážky na základe historických dát. Medzi najčastejšie používaný model patrí model Aladin a Medard.
- **UserDefinedRainfall** - užívateľsky definované hodnoty, pre ktoré je charakteristické definovanie časového intervalu a rozmedzia hodnôt. Tieto hodnoty sa nastavujú pre šablónu simulácie a prislúchajú vždy určitej meracej stanici.
- **TemplateSimulation** - táto trieda predstavuje šablónu simulácie, ktorá má byť následne spočítaná. Pre túto šablónu musí byť jednoznačne určená schematizácia povodia, pre ktorú bude simulácia počítaná a musí mať definovaný zrážko-odtokový model určený pre výpočet, spolu s dátumom a časom určujúcim čas začiatku simulácie, ktorý nemôže začínať v budúcnosti.
- **Simulation** - predstavuje triedu už spočítanej zrážko-odtokovej simulácie, pre ktorú je možné spočítať hydrodynamickú simuláciu. Každá simulácia musí mať definovanú svoju šablónu, na základe ktorej je táto simulácia počítaná. V prípade počítania hydrodynamickej simulácie musí mať definovaný hydrodynamický model, pre ktorý bude spúšťaná.
- **Hydrograph** a **HydrographData** - trieda Hydrograph popisuje celý hydrogram pre konkrétnu simuláciu. HydrographData obsahuje konkrétne spočítané hodnoty pre každý časový krok príslušného hydrogramu. Tieto hodnoty vyplývajú z nameraných a užívateľom definovaných hodnôt. Na základe spočítaných hydrogramov zrážko-odtokovej simulácie môže byť následne spočítaná hydrodynamická simulácia.
- **ModelCompatibility** - táto tabuľka v prípade počítania hydrodynamickej simulácie jednoznačne špecifikuje hydrodynamické modely, ktoré sú kompatibilné so zvolenou schematizáciou povodia a vybraným zrážko-odtokovým modelom, na ktorom je spočítaná zrážko-odtoková simulácia predchádzajúca hydrodynamike.
- **HydrodynamicResult** - tabuľka slúži pre uchovanie výsledkov hydrodynamickej simulácie v prípade počítania rozlivu.
- **CrossSection** - na základe hodnôt uložených v tejto tabuľke je možné identifikovať jednotlivé priečne profily (geometriu) kanálov nachádzajúcich sa v určitej vzdialenosti od začiatku kanála. V prípade, že sú pre tieto profily spočítané hydrodynamické simulácie, tak umožní identifikovať profil kanála ku ktorému sa vzťahuje výsledok tejto simulácie.
- **CommandLink** - slúži ako väzobná tabuľka medzi zdrojovou šablónou simulácie a simuláciami obsahujúcimi hodnoty prepočítané na kvantily

5.2 Analýza existujúcej databázy a pripojenia do databázy

Na aplikačnej strane je ako prepojenie s databázou použitý Linq to SQL. Pre zrýchlenie prepojenia databázy s aplikáciou a lepšiu podporu nových databázových typov (aj do budúcnosti) na aplikačnej strane som navrhoval použiť ako nové pripojenie do databázy PetaPoco (kapitola 5.2.1). Vzhľadom ale k množstvu naimplementovaných aplikácií prepojených s touto databázou využívajúcich ako prepojenie s databázou práve Linq to SQL sa nakoniec javilo v rozumnejšom riešení v súčasnosti ponechať stávajúce riešenie, nakoľko by tu bolo potrebné prepísať celú vrstvu pre prístup do databázy včetně špecifických koncových spojení. Avšak ako plán do budúcnosti tento nápad ostáva. Postupom času boli odhalené určité nekonzistencie v stávajúcom mapovaní oproti reálnej databáze, nakoľko objekty linq-u neboli pravidelne udržiavané (aktualizované) a neobsahovalo teda napríklad niektoré z novších atribútov, ktoré sa vyskytovali v databáze, ale neboli obsiahnuté v tejto vrstve zaoberajúcej sa mapovaním pre prístup k dátam, rovnako ako aj v aplikačných triedach. Taktiež väčšina databázových tabuliek oproti aplikačným triedam bolo pomenovaných rovnakým názvom s pridaným sufixom ‘_W’, ktorý tu nemal žiadne využitie. Niektoré tabuľky vytvorené z historických dôvodov neobsahovali žiadne dáta a ostali nevyužívané.

5.2.1 PetaPoco

PetaPoco je jednoduché a veľmi rýchle mikro objektovo-relačné mapovanie (ORM) zamerané na POCO (Plain Old CLR Object) podporujúce úzke vzťahy medzi objektmi a databázovými tabuľkami. Je obsiahnuté v jednom (C#) súbore, ktorý umožňuje automatické generovanie poco tried odpovedajúcich databázovým tabuľkám a ktorý je možné jednoducho pridať do hocikákeho projektu. Je silne typové a podporuje prácu s dynamickými objektmi, ako aj priestorovými objektmi typu Geometry a Geography (s ktorými má samotný Linq to SQL problém). Taktiež má jednoduché zabudované metódy pre Insert/Update/Delete/Save/IsNew, podporuje transakcie a umožňuje jednoduché stránkovanie. Toto ORM vzniklo v roku 2011 ako lepšia varianta pre využitie v projektoch pracujúcich s ORM, ako sú SubSonic/Linq a iné, ktoré sú veľmi pomalé (alebo náročné na implementáciu). Je založené na potrebe vrstvy pre prístup k dátam, ktorá by bola malá, rýchla, ľahká na použitie a mohla by bežať pre .NET 3.5+ / Mono 2.6+ [27].

5.3 Porovnanie analýz a popis úprav

Na základe analýzy existujúcej databázy som všetky tabuľky s obsahujúcim sufixom ‘_W’ na strane databázy premenoval tak, aby neobsahovali tento bezvýznamný sufix. Tabuľky, ktoré názvami neodpovedali triedam na strane aplikácie (aj keď takýchto bolo len veľmi málo) som premenoval tak, aby týmito názvami odpovedali a bolo na prvý pohľad jasnejšie, s ktorou tabuľkou človek pracuje.

V existujúcej databáze sa už nachádzala tabuľka so zrážko-odtokovými modelmi, ktorá bola ale namiesto prepojenia s tabuľkou pre šablónu simulácie prepojená priamo s tabuľkou simulácie.

Nakoľko každá simulácia musí obsahovať svoju šablónu mohla byť táto väzba presunutá so zachovaním historických údajov. Väzba sa teda presunula na tabuľku pre šablónu simulácie a na strane databázy bolo nutné vytvoriť procedúru, ktorá presunula historické dáta týchto modelov z tabuľky simulácie na tabuľku pre šablónu simulácie. Na základe tejto zmeny bolo nutné na aplikačnej strane aktualizovať aj metódy, ktoré pracovali s týmito tabuľkami.

Existujúce databázové tabuľky prepojené s triedami podobnými (alebo totožnými) môjmu návrhu, ktoré boli vytvorené z historických dôvodov a zároveň neboli v tejto databáze využívané som z nej po odstránení väzieb zmazal. Patrila sem napríklad tabuľka SimComScheduling, ktorá neobsahovala žiadne záznamy a pre aktuálnu databázu nemala žiadne využitie. Táto tabuľka bola spojená s tabuľkou šablóny simulácie a tabuľkou pre zrážko-odtokový model. Vo vybraných tabuľkách, ktoré boli potrebné pre následnú prácu s nimi boli zmazané niektoré nevyužívané atribúty.

Nové tabuľky, potrebné pre rámec analýzy, ktoré ešte neexistovali v stávajúcej databáze boli v tejto databáze vytvorené spolu s novými väzbami na už existujúce tabuľky a premenovanými novo pridanými atribútmi v existujúcich tabuľkách, ktoré boli premenované tak, aby bolo jasné s ktorými z nových tabuliek sú previazané. V niektorých nových tabuľkách boli pridané nastavenia predvolených hodnôt, ktoré mali tieto tabuľky obsahovať v prípade nezhodovania (ako napríklad časové údaje). Taktiež boli nastavené požadované reštrikcie nad niektorými novými atribútmi, ako napríklad obmedzenie pre maximálne jeden predvolený model z množiny modelov určitého typu (napríklad hydrodynamických) patriacich pod určité povodie.

Novo pridané tabuľky do existujúcej databázy sú HydrodynamicModel, HydrodynamicBasin-Model, UserDefinedRainfall, ChannelParameter, SubbasinParameter, ModelCompatibility, HydrodynamicResult, CrossSection. Ostatné tabuľky sa v databáze už vyskytovali s odpovedajúcim názvom, alebo v podobnom kontexte s iným názvom. Po pridaní týchto nových tabuliek som v databáze nastavil novo pridané modely a kompatibilitu medzi určitými modelmi rôznych typov.

5.4 Architektúra

Väčšina vývoja rámca bola realizovaná vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2013 Ultimate. Toto prostredie som zvolil vďaka pohodlnému procesu vývoja včetně ladenia, debugovania a prípadného testovania výkonu.

Základným systémovým skeletom je architektúra, na ktorej je postavená aplikačná funkčnosť. Tá umožňuje dodržať rovnako ako funkcionálne, tak aj nefunkcionálne požiadavky na systém a súčasne by mala zachovávať jednoduchosť spravovateľnú, rozšíriteľnú a flexibilitu aplikáciu. Popis prípadov použitia je popísaný vyššie v kapitole 4.1 a preto tu v rámci komponentovej architektúry (4+1 rozličných pohľadov) popíšem zvyšné štyri.

5.4.1 Logický pohľad

Logický pohľad popisuje rozvrstvenie systému a jeho rozdelenie na menšie subsystemy. Systém využíva trojvrstvovú architektúru, zloženú z prezentačnej, aplikačnej a dátovej vrstvy.

V *prezentačnej vrstve*, ktorá je priamo viditeľná užívateľovi, si užívateľ nastavuje parametre pre vytvorenie a následné spočítanie analýzy, taktiež spracováva zadané hodnoty a zobrazuje spočítané výsledky. Okrem iného tu zodpovedá aj za validáciu týchto dát, či už na klientskej, alebo serverovej strane. Pri implementácii bol primárne použitý jazyk C#, s použitím Web Forms-ov v technológii .NET. Ďalej tu bol použitý skriptovací jazyk JavaScript a jQuery (ako pomoc pri štylizácii prvkov) v kombinácii s použitím Bootstrapu [26], ktorý má dobrú podporu v prípade najpoužívanejších webových prehliadačov. Hodil sa tu najmä v prípade dizajnovej úpravy prvkov zobrazovaných na stránkach, pre jednoduchú zmenu grafických zobrazení včetně vhodného riešenia v prípade využitia responzívneho dizajnu. CSS tu bolo zúžitkované pri dizajnových úpravách štýlov a HTML prvkov.

Logická vrstva slúži pre vykonávanie operácií nad prenášanými dátami. V prípade zobrazenia dát tieto dáta prijme od databázovej vrstvy a pošle ich ďalej na prezentačnú vrstvu. V opačnom prípade, ak chce užívateľ uložiť dáta do databázy, sú tieto dáta prijaté od prezentačnej vrstvy a preposlané na nižšiu, databázovú vrstvu. Taktiež napomáha pri napĺňaní DTO objektov, do ktorých okrem nameraných dát z databázy pridáva aj predikčné hodnoty, ako aj užívateľom zadané hodnoty. V tejto vrstve sa nachádza tiež rozhranie koncových bodov, tzv. endpointov, ktorých implementácia slúži ako návrhový vzor Facade pre vnútorné implementačné triedy slúžiace pre pokročilé spracovanie dát. Táto vrstva je previazaná s databázovou vrstvou M12Warehouse.

Databázová vrstva sa v trojvrstvovej hierarchii nachádza na najnižšej úrovni. Táto vrstva zaisťuje prácu s dátami a slúži ako priame prepojenie s databázou. Pre prístup do databázy je tu použité ako objektovo relačné mapovanie Linq to SQL. V tejto vrstve sa nachádzajú mappery databázy, ktoré slúžia pre načítanie a ukladanie databázových objektov. Tie sú pri načítaní prevedené na objekty typu DTO a naopak v prípade ukladania do databázy. Ako databáza pre prácu v oblasti rámca what-if analýzy je použitá MS SQL databáza, z ktorej sú načítané základné údaje potrebné pri výpočtoch a nastaveniach parametrov analýzy. Do tejto databázy sú následne vkladane aj spočítané výsledky simulácií. Pre ukladanie výsledkov hydrodynamiky je použitá databáza PostGIS. Pre načítanie dát je použitý návrhový vzor lazy loading, pričom namiesto načítania všetkých dát súčasne a následnej filtrácii sú načítavané vždy len tie dáta, ktoré sú skutočne potrebné. Pre to, aby rámec mohol správne fungovať nad pôvodnou databázou a zároveň aby pod ňou mohli fungovať už nasadené aplikácie, bolo nutné robiť pravidelné úpravy a zásahy do databázy, rovnako ako aj do aplikácie, ktoré nenarušili činnosť stávajúcich aplikácií a zároveň bolo možné čiastočne modifikovať funkcionality.

5.4.2 Pohľad procesov a vlákien

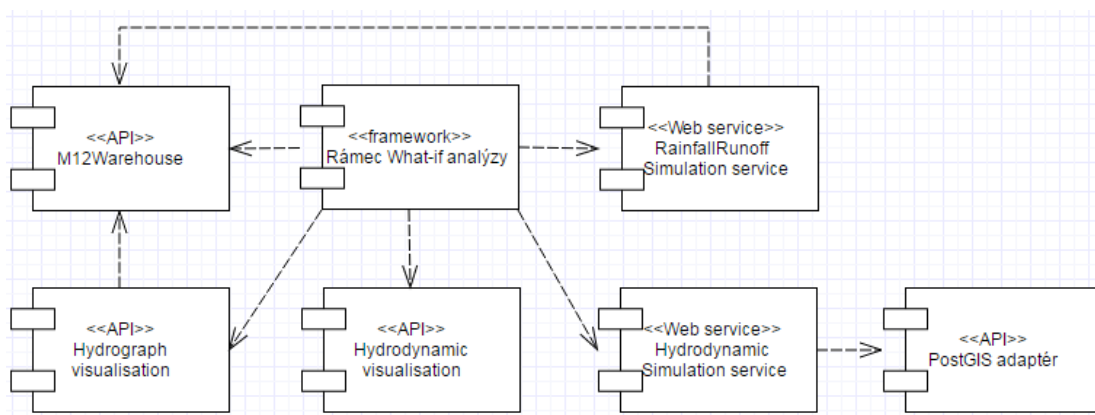
Tento pohľad slúži pre znázornenie procesov používaných systémom, komunikácie medzi nimi, ako aj použitie vlákien samotným systémom. Celá aplikácia je vytvorená ako jeden proces, pričom každého užívateľa obsluhuje samostatným vláknom. O pridelenie vlákien sa tu nemusíme starať, pretože je spracovávané automaticky pomocou webového servera. V prípade, ak sú vlákna nevyužitá, sú uložené do skladiska, kde sú pripravené pre ďalšie použitie, vďaka čomu sa nemusia vlákna vytvárať a opäť rušiť a je tak ušetrená réžia.

Rámec analýzy spolupracuje pomocou SOAP rozhrania s dvomi hlavnými webovými službami obsluhujúcimi výpočty simulácií, kam patrí webová služba pre spúšťanie zrážko-odtokovej simulácie, ktorá v prípade počítania simulácie spúšťa samostatný proces, podobne ako webová služba starajúca sa o hydrodynamickú simuláciu. Služba zrážko-odtokovej simulácie je prepojená s rámcom pre spúšťanie simulácií. Tento rámec zaisťuje paralelné počítanie týchto simulácií [15].

Rámec je taktiež pomocou HTTP spojený aj s API pre poskytovanie spočítaných výsledkov. V oboch prípadoch, či už sa jedná o webové služby, alebo o API pre poskytovanie výsledkov si cieľový webový server vytvára a spravuje vlastné vlákna pre obsluhu požiadavkov.

5.4.3 Implementačný pohľad

Implementačný pohľad zorazený na obrázku 4 slúži pre zachytenie závislostí komponent systému v rámci implementačnej úrovne, ktoré sa starajú o plnenie funkcií v systéme.

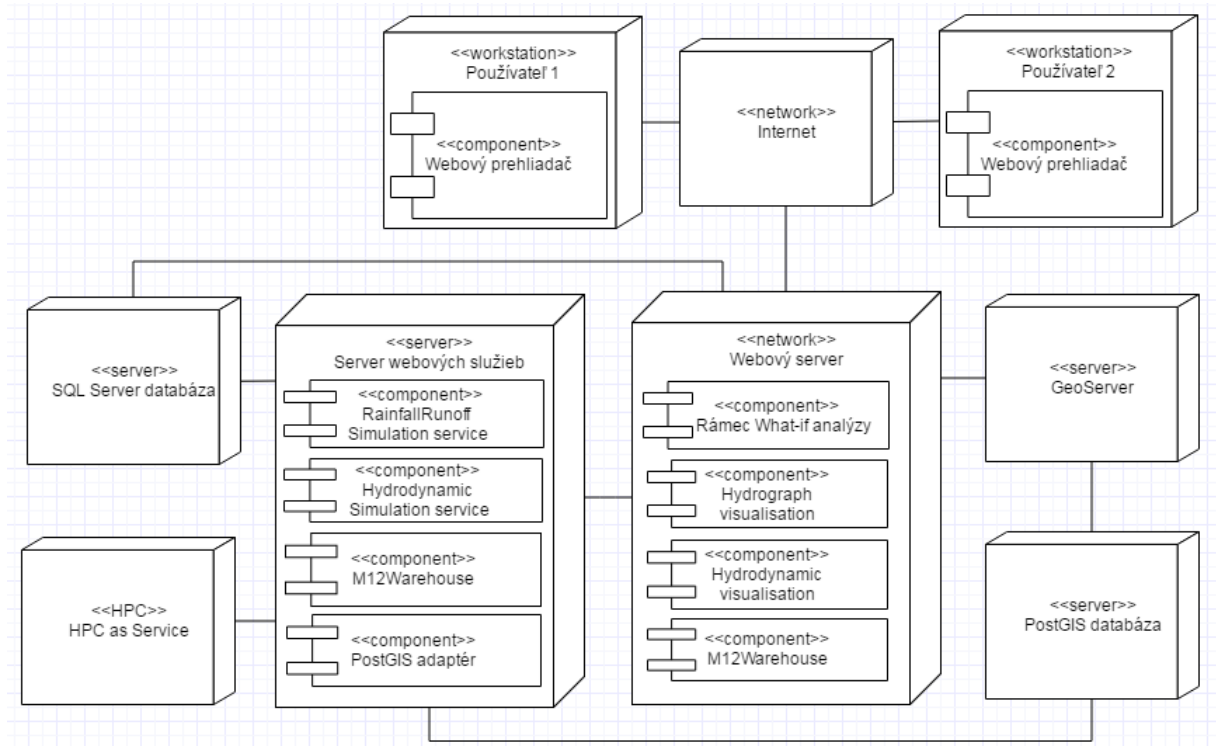


Obr. 4: Implementačný pohľad

Pre výpočet simulácií a ukladanie výsledkov simulácií sú kvôli modularite a efektívnosti použité samostatné webové aplikácie nasadené na serveri, poskytujúce webové služby pre spoluprácu, ktoré sa počítajú na superpočítači. Pre zobrazenie výsledkov je taktiež zhotovená webová služba, ktorá je schopná poskytovať požadované výsledky jednotlivých simulácií. Všetky tieto webové služby sú spojené s týmto rámcom, s ktorým priamo komunikujú. Zdrojové kódy komponent M12Warehouse, RainfallRunoffService a HydrographVisualisation, s ktorými som v priebehu práce pracoval sú súčasťou príloh neverejnej časti práce.

5.4.4 Pohľad nasadenia

Pohľad nasadenia slúži pre zobrazenie vzťahov medzi komponentami systému a zároveň znázorňuje použitý hardvér v rámci jednotiek určených pre (výpočtovú) operáciu. Tento pohľad je znázornený na obrázku diagramu nasadenia 5.



Obr. 5: Diagram nasadenia

6 Implementácia navrhnutého rámca a testovanie

Prvým krokom pred samotnou implementáciou rámca what-if analýzy bolo preštudovanie a pochopenie fungovania zakomponovaných riešení výpočtov modelov používaných v systéme Floreon+. Následne bolo nutné vyriešiť prepojenie týchto modelov s aplikáciou a taktiež spôsob predávania parametrov, na základe toho, či sa jednalo o zrážko-odtokové modely, alebo modely hydrodynamické. Samotná implementácia nasledovala až po tom, ako boli zodpovedané riešenia týchto problémov popísaných vyššie.

Rozhranie tohto rámca pracuje so vstupnými hodnotami získanými z databázy v kombinácii s hodnotami zadanými (alebo editovanými) užívateľom. Vďaka získaným hodnotám rámec vytvorí XML súbor, v ktorom sú tieto hodnoty obsiahnuté a použije ich pre ďalšie spracovanie. Po prevedení simulácií sú získané výstupné hodnoty, ktoré sú zobrazené užívateľovi v interpretovateľnej podobe.

6.1 Vstupné hodnoty

Ako vstupné hodnoty pre vytvorenie novej šablóny simulácie sú potrebné tieto hodnoty: názov simulácie, dátum a čas spustenia simulácie, dĺžka predpovede, povodie, na ktorom je následne simulácia počítaná, užívateľom zvolený zrážko-odtokový model s príslušnou schematizáciou povodia, atmosférický model v prípade, že užívateľ chce počítať aj predpoveď. Použijú sa tiež parametrizácie kanálov a subpovodí, pričom sú primárne použité hodnoty týchto parametrizácií nakonfigurované užívateľom. V opačnom prípade sa použijú prednastavené hodnoty. V prípade ak si užívateľ definoval vlastné hodnoty zrážok, sú tieto zrážky použité a priradené ku všetkým staniciam, ktoré si užívateľ definoval. Zvyšné hodnoty zrážok pre jednotlivé merné stanice a časové rozpätie, ktoré užívateľ nedefinoval sú načítané podľa zvoleného atmosférického modelu priamo z databázy.

Medzi vstupné hodnoty v prípade spúšťania zrážko-odtokovej simulácie patrí pole obsahujúce identifikátory vytvorených šablón simulácií. Na základe týchto identifikátorov sa z databázy načítajú všetky potrebné dáta parametrizácií zrážko-odtokovej simulácie, podľa ktorých je vygenerovaný XML súbor (kapitola 6.1.2) obsahujúci tieto hodnoty. Ten je následne predaný aplikačnému rámcu pre spúšťanie simulácií zrážko-odtokových modelov naimplementovanému v C++, kde je táto simulácia spočítaná a získané výsledky sú následne uložené do databázy.

Ku vstupným hodnotám v prípade hydrodynamickej simulácie patrí identifikátor schematizácie povodia, dátum a čas určujúci spustenie simulácie, čas ukončenia simulácie a identifikátor simulácie. Na základe týchto dát sa z databázy získajú všetky potrebné informácie o simulácii, povodí a jeho schematizácii, údaje o staniciach a hydrogramoch spočítaných zo zrážko-odtokovej simulácie, definovaných pre jednotlivé stanice.

6.1.1 Uživatelsky definované hodnoty prepočítané na kvantily

V prípade, že užívateľ zadal vlastné hodnoty zrážok pomocou intervalu prislúchajúce zvoleným staniciam, sú tieto intervaly prepočítané na konkrétne hodnoty, ktoré sa následne použijú pre výpočet simulácie. Tieto hodnoty sú následne rozpočítané na hodiny spadajúce do užívateľom definovaného časového rozmedzia na základe rovnomerného rozdelenia. Hodnoty si užívateľ môže definovať v ľubovoľnom časovom rozmedzí spadajúceho do časového intervalu počínajúceho časom, ktorý si definoval pre analýzu a končiaceho jemu zvolenou dobou predpovede. Nie je tu teda nutné, aby bolo pokryté celé toto časové rozmedzie a môže tu byť pokrytá iba určitá časť. Taktiež si tu užívateľ môže vybrať stanice podľa vlastného zváženia, pre ktoré sú tieto hodnoty definované, pričom si musí minimálne vybrať jednu a maximálne všetky dostupné stanice.

Výpočet konkrétnych hodnôt z intervalového zadania zrážok je prevedený pomocou výpočtu štatistických kvantilov na základe rovnomerného rozdelenia zrážok v zadanom intervale. Ak sa medzi intervalmi zadaných hodnôt prepočítaných na hodinový krok nachádza aspoň jeden interval taký, že obsahuje hodnotu rozpätia zrážok väčšiu, alebo rovnú ako 8 milimetrov za hodinu sú všetky definované hodnoty prepočítané na päť kvantilov, pričom na každom z týchto kvantilov s príslušnými hodnotami je prevedená jedna simulácia. V prípade, že všetky intervaly majú prepočítanú hodnotu intervalu zrážok menšiu ako 8 milimetrov za hodinu, sú tieto hodnoty kvôli úspore výpočtov prepočítané iba na 3 kvantily a následne sú prevedené 3 simulácie. V poslednom prípade, ak si užívateľ nedefinuje hodnoty zrážok, je prevedená iba 1 simulácia, ktorá vychádza z hodnôt uložených v databázy.

6.1.2 XML súbor pre zrážko-odtokovú simuláciu

Aby bolo možné efektívne spúšťať zrážko-odtokovú simuláciu nad modelom nainplementovaným v C++ spúšťaným na superpočítači je nutné pripraviť vstupný XML súbor. Tento súbor obsahuje všetky potrebné údaje pre spustenie zrážko-odtokovej simulácie na konkrétnom zvolenom modeli. V hlavičke tohto súboru vo výpise kódu 1 sú obsiahnuté konfiguračné informácie o spúšťanom modeli, identifikácia schematizácie, na ktorej je táto simulácia spúšťaná, umiestnenie a spôsob uloženia spracovaných hodnôt a spočítaných výsledkov.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<config>
  <simulation>
    <result_storage>
      <output_type>File</output_type>
      <output_dir>.</output_dir>
    </result_storage>
    <log>
      <console_output>1</console_output>
      <file_output>0</file_output>
```

```

    <log_file>log/log.txt</log_file>
    <level>ERROR</level>
    <format>%datetime %level [%logger] %msg</format>
</log>
<model>
    <model_type>HEC_HMS</model_type>
    <temp_directory>/ramdisk</temp_directory>
    <config_directory>hec-hms/schematizace/Odra_CN_extended</config_directory>
    >
</model>
</simulation>
...
</config>

```

Výpis 1: Hlavička vstupného XML súboru pri zrážko-odtokovej simulácii

Základnými zložkami tohto súboru je následná kolekcia kanálov, subpovodí a hodnôt užívateľom definovaných zrážok prislúchajúcich staniciam (výpis kódu 2) označené jednoznačným identifikátorom, ktorým v tomto súbore nie je databázové id, ale kódové označenie kanálov, subpovodí a merných staníc (ktoré je taktiež unikátne). Toto je spôsobené tým, že sa model počíta obecné, bez väzby na databázu, pričom jeho vnútorná štruktúra je nastavená tak, že pracuje s obecnými kódmi nezávisle na databázovom uložení. Následne tento súbor obsahuje hodnoty parametrov použitých pri výpočte, medzi ktoré patrí parametrizácia všetkých kanálov a subpovodí spadajúcich pod túto schematizáciu a v neposlednom rade hodnoty zrážok, ktoré sú buďto namerané, užívateľsky definované, alebo predikované z atmosférického modelu. V ukážkovom prípade sú zobrazené hodnoty iba dvoch zrážok v časovom intervale dvoch hodín, no v reáli je počet týchto použitých hodnôt pohybujúci sa okolo 168.

```

<changesets>
  <changeset id="307637">
    <subbasins>
      <subbasin id="R100W100">
        <parameter name="BaseFlow" value="0.0032386" />
        <parameter name="CN" value="80.9" />
        <parameter name="N" value="0" />
        <parameter name="InitialAbstraction" value="12" />
        <parameter name="LAI" value="0" />
        <parameter name="TimeConcentration" value="3.49" />
        <parameter name="StorageCoeff" value="5.64" />
      </subbasin>
    </subbasins>
  </changeset>
</changesets>

```

```

<channels>
  <channel id="R180">
    <parameter name="Slope" value="0.0029" />
    <parameter name="BankSlope" value="1.4" />
    <parameter name="Depth" value="0" />
    <parameter name="Width" value="7" />
    <parameter name="N" value="0.04" />
  </channel>
</channels>
<weather_stations>
  <weather_station id="04SVIN00">
    <precipitations>
      <value timestep="2010-05-12T11:00:00">1.7</value>
      <value timestep="2010-05-12T12:00:00">0.8</value>
    </precipitations>
  </weather_station>
</weather_stations>
</changeset>
</changesets>

```

Výpis 2: Príklad skráteného vstupného XML súboru použitého pri zrážko-odtokovej simulácii

6.2 Implementácia

Rámec pre spúšťanie What-if analýzy si najskôr cez logickú vrstvu načíta všetky povodia, ktoré majú nastavené zrážko-odtokové modely a aktuálnymi schematizáciami používanými pri výpočte. Po zvolení tohto povodia sa následne načítajú tieto dostupné zrážko-odtokové modely a schematizácie. Po tom, ako si užívateľ zvolí všetky tieto hodnoty sú z databázy načítané príslušné hodnoty parametrizácii kanálov a subpovodí, spolu so stanicami, na ktorých môžu byť definované užívateľské hodnoty. Z databázy je načítaný aj zoznam aktuálnych atmosférických modelov určených pre výpočty predikcie zrážok. V prípade, ak užívateľ bude chcieť okrem zrážko-odtokovej simulácie počítať aj hydrodynamickú simuláciu a je dostupný model pre tento výpočet a zvolené povodie, je mu umožnené vybrať si tento model. Pri výpočte týchto simulácií rámec najskôr spracuje hodnoty, ktoré budú použité pre následné uloženie šablóny. O toto spracovanie sa primárne stará pomocná trieda PrepareData nachádzajúca sa na logickej úrovni. Na základe týchto dát sú naplnené príslušné šablóny simulácií (výpis 3), ktoré sú potom uložené do databázy. Ako ďalší krok tento rámec určí šablóny použité pri výpočte (v prípade užívateľsky definovaných hodnôt zdrojová šablóna nie je určená pre výpočet). Následne tento rámec spolupracuje s príslušnými službami pre zrážko-odtokovú a hydrodynamickú simuláciu.

Pre inicializáciu parametrizácii kanálov a subpovodí je tu vytvorená pomocná trieda Converter, ktorá sa nachádza na prezentačnej vrstve a prevedie predvolené hodnoty požadovaných kanálov a subpovodí objektov, určených pre parametrizáciu a ktoré je možné iteratívne prechádzať prostredníctvom gridview. Podobne je využitá pri prevode užívateľsky zadaných hodnôt a prevodu hodnôt na kvantily. Následne slúži aj pri spätnom prevode na DTO objekty. Pre výpočet zrážko-odtokových simulácií je aplikácia spojená s webovou službou, ktorá obsluhuje výpočty pre zrážko-odtokové modely, na základe pripraveného XML súboru (kapitola 6.1.2). Aplikácia je napojená tiež na webovú službu, ktorá prevádza výpočty na príslušnom hydrodynamickom modeli.

Webová služba pre prácu so zrážko-odtokovými simuláciami, založená na rozhraní SOAP funguje tak, že od rámca prijme pole obsahujúce šablóny simulácii určených pre následný výpočet simulácie. Následne pre každú z týchto šablón naplní pomocný DTO objekt, do ktorého sú načítané merané hodnoty, predikčné hodnoty a užívateľsky definované hodnoty. Následne sa do databázy uloží simulácia odpovedajúca príslušnej šablóne simulácie. Po tom, ako sú všetky simulácie uložené, táto služba zaistí spočítanie samotných zrážko-odtokových simulácií. Keď sú tieto simulácie spočítané, tak sú spočítané hodnoty prevedené na datové objekty, ktoré sú uložené do databázy. Ako výsledok táto služba vráti pole obsahujúce spočítané simulácie.

Ďalšou službou tu je hydrodynamická, ktorá umožňuje spočítanie hydrodynamickej simulácie. Táto služba je založená na SOAP rozhraní. Táto služba prijíma ako parametre pre spustenie hydrodynamickej simulácie identifikátor schematizácie, na ktorom bude simulácia počítaná, začiatkový, koncový čas simulácie a identifikátor spočítanej zrážko-odtokovej simulácie. Následne sú nastavené cesty k súborom, kde budú ukladané dočasné výsledky. Služba si následne získa hydrogramy meraných hodnôt spolu so spočítanými hydrogramami spočítanej zrážko-odtokovej simulácie na základe jej identifikátora. Tieto hydrogramy sú následne spojené do jednej kolekcie objektov, slúžiacich ako vstup pre hydrodynamickú simuláciu. Simulácia je následne spočítaná s využitím pomocných súborov pri výpočtoch, do ktorých si ukladá spočítané hodnoty. Po tom, ako sú všetky hodnoty spočítané tieto hodnoty uloží do databázy a pomocné súbory zmaže.

V prípade zobrazenia výsledkov simulácii je tento rámec spojený s adaptérom pre poskytovanie výsledkov. Po tom, ako si užívateľ zvolí spočítanú simuláciu, pre ktorú chce tieto výsledky zobrazíť mu rámec poskytne spracované dáta určené pre zobrazenie.

```
TemplateSimulationDTO templateSimulation = new TemplateSimulationDTO()
{
    Name = !string.IsNullOrEmpty(wiaName) ? wiaName : string.Format("Simulace
        {0} ({1})", rainfallRunOffModelDropDownList.SelectedItem.Text,
        DateTime.Now),
    Version = 3,
    BasinSchemaId = basinSchemaId,
    CreationalTime = DateTime.Now,
    ActualTimeT0 = DateTime.Parse(dateTime),
```

```

Step = 3600,
Status = ESCStatus.WhatIf,
RainfallModel = new ModelDT0()
{
    Id = int.Parse(rainfallRunOffModelDropDownList.SelectedValue),
    Name = rainfallRunOffModelDropDownList.SelectedItem.Text
},
ChannelParameters = Convertor.Convert(chpViews),
SubBasinParameters = Convertor.Convert(sbpViews),
UserDefinedRainfalls = udrList,
AllocationEntries = GetAllocationEntries(atmosphericModelId,
    predictionValue)
};

```

Výpis 3: Ukážka konfigurácie zrážko-odtokovej simulácie

6.3 Výstupy spočítaných simulácií

Výstupom rámca what-if analýzy v prípade zrážko-odtokovej simulácie sú hydrogramy, čo sú grafy, zobrazujúce možný rozptyl hodnôt prietoku vody v danom mieste. Tento prietok prislúchajúci reálnym hydrologickým staniciam je zobrazený ako funkcia času s mierou pravdepodobnosti danou vstupnými kvantilmi.

V prípade hydrologickej simulácie slúži ako výstup grafické zobrazenie rozlivu znázornené na mape. Rozliv je reprezentáciou javu zaplavenia určitého územia patriaceho k príslušnému vodnému toku. Tento jav je väčšinou spôsobený v dôsledku povodní, alebo pri poškodení vodných diel.

7 Prevedenie a vyhodnotenie experimentov pomocou implementovaného rámca

V tejto sekcii sa nachádza prevedenie a vyhodnotenie experimentov s pomocou rámca what-if analýzy s využitím reálnych dát doplnených o užívateľom zadané hodnoty zrážok. Je tu uvedený postup vykonania zrážko-odtokovej a hydrodynamickej simulácie s využitím zrážko-odtokových modelov Math1D a HEC-HMS, včetně ukážky vstupných hodnôt a získaných výsledkov.

7.1 Prevedenie zrážko-odtokovej simulácie na povodí Ostravice

V prvom prípade popíšem vykonanie zrážko-odtokovej simulácie spolu s užívateľsky definovanými hodnotami a editovanými parametrami subpovodí a kanálov, ktorá je znázornená na nasledujúcom obrázku 6.

Floreon+
Nástroj pro řešení
krizových situací

Moravskoslezský kraj

IT4Innovations
národní
superpočítačové
centrum

What-if analýza Nespočítané analýzy Hydrogramy

What-if analýza

Názov analýzy: What-if Math1D Ostravice Od času: 15.05.2010 10:00

Dĺžka predpovede: 24h

Povodie: Ostravice Zrážko-odtokový model: Math_1D Schematizácia: Ostravice_GA_nonflood_nev

Atmosférický model: Medard Editovať parametre kanálov Editovať parametre subpovodí

☒ Definovať zrážky

Počiatkový interval (h)	Koncový interval (h)	Od (mm)	Do (mm)	Stanice
0	19	0	120	16 selected
5	24	10	150	Ostrava - Ostravi...

Pridať riadok

Hydrodynamický model: <nepočítat hydrodynamiku>

Obr. 6: Vytvorenie What-if analýzy pre zrážko-odtokovú simuláciu na povodí Ostravice

Táto simulácia je určená pre vybranú schematizáciu v rámci povodia Ostravice. Začiatok simulácie je zvolený na 15. mája 2010 o 10:00. Ako zrážko-odtokový model pre počítanie simulácie je v tomto prípade zvolený Math1D. Atmosférický model použitý pre predikciu zrážok je zvolený Medard a počítanie predpovede je nastavené na 24 hodín dopredu. Taktiež sú tu nastavené modifikované hodnoty vybraných parametrov kanálov a subpovodí znázornené na obrázku 7.

Názov	Počiatkový tok	Cn krivka	Drsnosť	Počiatkové nasýtenie	Doba stečenia zrážok	Množstvo vsiaknutej vody	Miera plochy subpovodia
R480W480	0.0131385	69.5	0	22.3	2.11	2.14	19.9
R490W490	0.0131386	80.1	0	12.65	1.3	2.31	25
R450W450	0.01479	70.54	0	21.3	2.44	2.28	31.1
R470W470	0.012591	68.3	0	23.6	3.14	1.19	18.4
R440W440	0.0120436	63.1	0	29.33	1.96	1.29	10.9
R460W460	0.0136888	67.4	0	24.6	1.29	1.2	33.1

Obr. 7: Ukážka editovaných parametrov

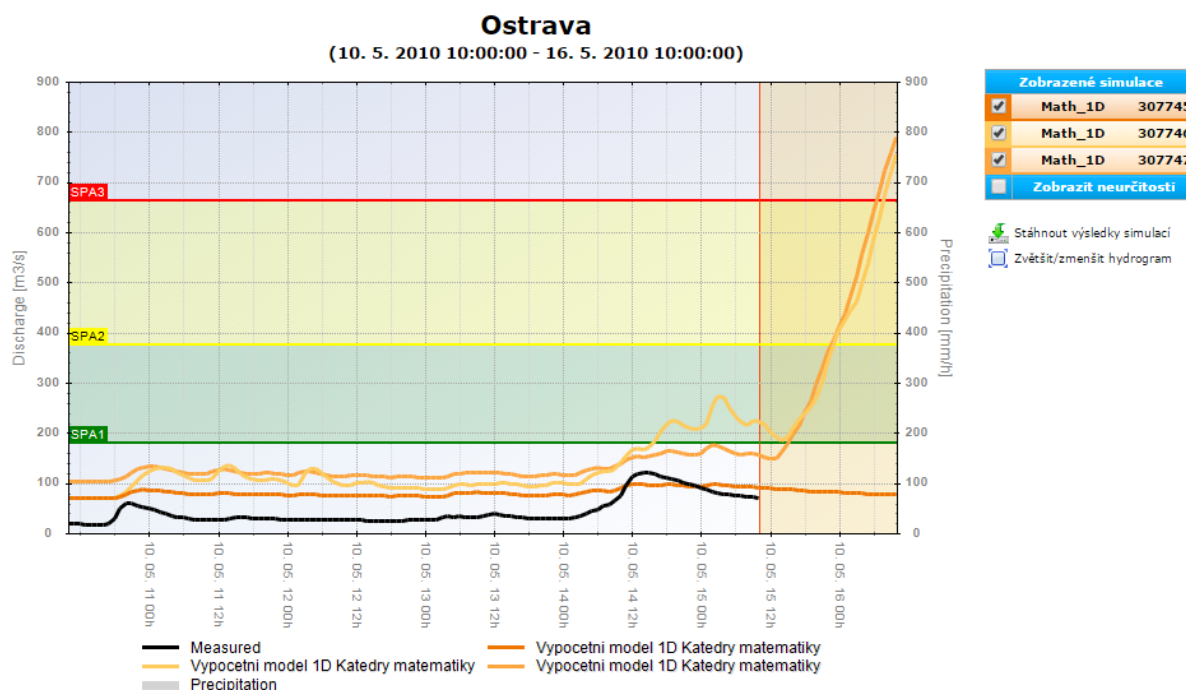
Keďže rozpätia intervalov zrážok prepočítaných na hodinový krok na základe rovnomerného rozdelenia nedosiahli ani v jednom z prípadov hodnotu väčšiu, alebo rovnú ako 8 mm za hodinu sú tieto hodnoty prevedené na 3 kvantily, pre ktoré sú následne spustené 3 simulácie. Hodnoty jednotlivých zrážok pre hodinový krok sú prepočítané a znázornené v tabuľke 2 obsahujúcej okrem hodnôt aj kvantily, na základe ktorých boli tieto hodnoty počítané a príslušný časový interval. Hodnoty uvedené pod príslušnými kvantilmi (0%, 50%, 100%) sú uvedené v jednotkách mm/h.

Tabuľka 2: Prepočítané hodnoty definovaných zrážok na povodí Ostravice v roku 2010

	0%	50%	100%	Začiatok	Koniec
1. riadok	0	3	6	15. máj 10:00	16. máj 05:00
2. riadok	0,5	4	7,5	15. máj 15:00	16. máj 10:00

Tieto hodnoty sú pridané do vstupného XML súboru pre zrážko-odtokovú simuláciu (popísaný v 6.1.2), na základe ktorého sú prevedené tieto 3 simulácie. Po spočítaní všetkých simulácií si užívateľ môže zobrazit získané výsledky vo forme hydrogramov. Ukážka detailu získaného hydrogramu spočítaného na povodí Ostravice pre vodomernú stanicu Ostrava je zobrazená na obrázku 8. Na hydrograme môžeme vidieť zobrazené 3 oranžové čiary, pričom každá z nich znázorňuje jednu zo spočítaných simulácií. Od dátumu začínajúceho 15. májom 2010 a časom 15:00, od kedy sú definované prvé hodnoty užívateľsky definovaných zrážok pre zrážkomernú stanicu Ostrava je na obrázku patrný nárast množstva vody pretekajúceho vodomernou stanicou v tejto oblasti. Taktiež z obrázka môžeme vidieť prekročenie najvyššieho, tretieho stupňa povodňovej

aktivity, čo je stav ohrozenia, ktorý je vyhlásený pri nebezpečenstve vzniku škôd veľkého rozsahu, ohrozenia majetku, alebo až ohrozenia života. V prípade tohto stavu by v postihnutej oblasti začali zabezpečovacie a záchranné práce.



Obr. 8: Ukážka hydrogramu spočítaného na modeli Math1D pre vodomernú stanicu Ostrava

7.2 Prevedenie hydrodynamickej a zrážko-odtokovej simulácie na povodí Odry

Druhým testovacím experimentom bolo prevedenie hydrodynamickej simulácie, ktorej musí predchádzať zrážko-odtoková simulácia. Simulácia je spustená na povodí Odry po Opavu s použitím zrážko-odtokového modelu HEC-HMS. Simulácia začína 17.5.2010 o 11:00, kedy boli v tejto oblasti povodne a má určenú dĺžku predpovede 48 hodín. Parametre kanálov a povodí nie sú upravované a sú použité predvolené hodnoty. Atmosférický model zvolený pre predpoveď je Aladin. Hodnoty definovaných zrážok sú zobrazené na obrázku 9.

Počiatkový interval (h)	Koncový interval (h)	Od (mm)	Do (mm)	Stanice	
25	37	0	100	Svinov ▾	✕
38	38	5	20	Vlčovice ▾	✕
40	44	2	35	Petřvald ▾	✕
10	20	0	30	8 selected ▾	✕

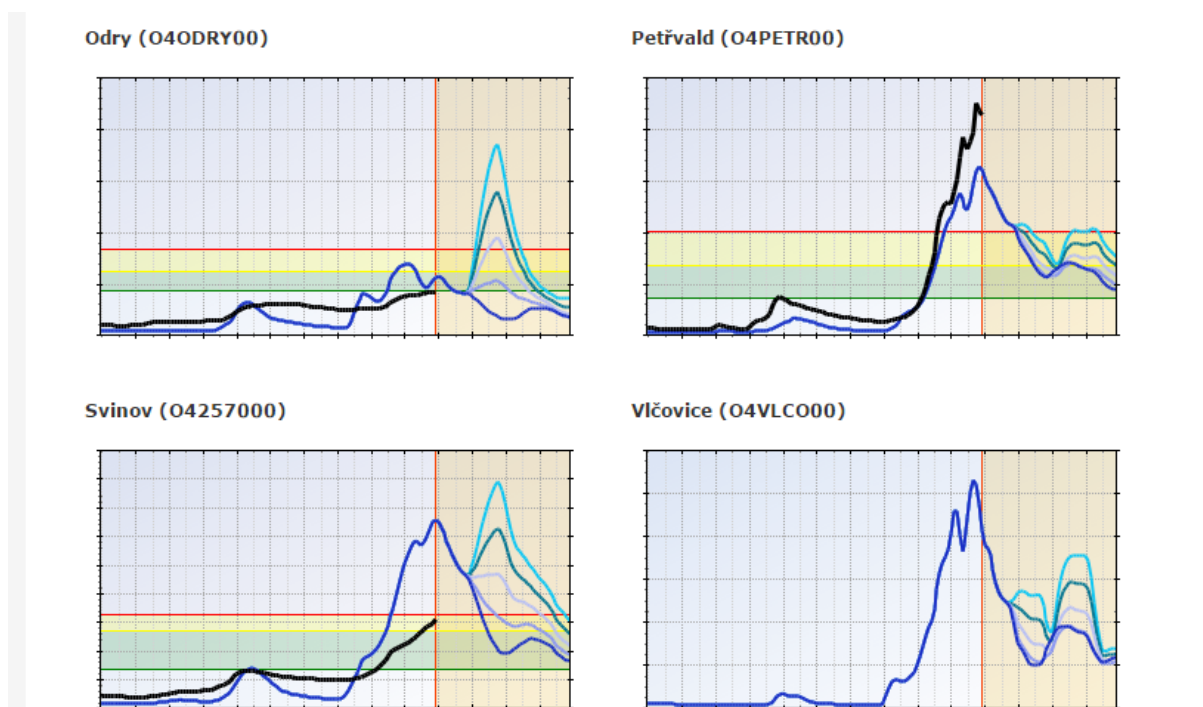
Obr. 9: Hodnoty užívateľsky definovaných zrážok pre simuláciu na povodí Odry po Opavu

V tomto prípade rozpätie intervalov zrážok prepočítaných na hodinový krok dosahuje väčšiu hodnotu ako 8 milimetrov v prípadne zrážkomernej stanici Vlčovice. Na základe toho sú jednotlivé zadané hodnoty prepočítané podľa piatich kvantilov a následne je tu spustených dokopy 5 simulácií. Tieto hodnoty sú zobrazené v tabuľke 3. Hodnoty uvedené pod príslušnými kvantilmi (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) sú uvedené v jednotkách mm/h.

Tabuľka 3: Prepočítané hodnoty definovaných zrážok na povodí Odry po Opavu v roku 2010

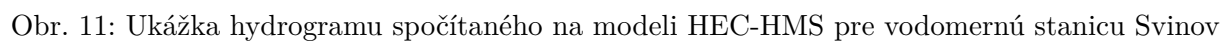
	0%	25%	50%	75%	100%	Začiatok	Koniec
1. riadok	0	1,9231	3,8462	5,7692	7,6923	18. máj 12:00	19. máj 00:00
2. riadok	5	8,75	12,5	16,25	20	19. máj 01:00	19. máj 01:00
3. riadok	0,4	2,05	3,7	5,35	7	19. máj 03:00	19. máj 07:00
4. riadok	0	0,6818	1,3636	2,0455	2,7273	17. máj 21:00	18. máj 07:00

Po tom, ako je všetkých 5 zrážko-odtokových simulácií spočítaných si opäť môžeme zobrazit tieto výsledky formou hydrogramov (obrázok 10).



Obr. 10: Ukážka získaných hydrogramov v povodí Odry po Opavu

Z obrázkov je opäť vidieť, ako po čase, pre ktorý sú definované užívateľské zrážky je akumulované väčšie množstvo vody v prechádzajúcej týmito vodomernými stanicami. Taktiež sú z obrázkov jednoducho rozlíšiteľné jednotlivé simulácie, ktoré boli spočítané postupne na spočítaných hodnotách všetkých rozptylov. Detail hydrogramu pre vodomernú stanicu Svinov je znázornený v obrázku číslo 11.



50

7.3 Overenie výsledkov a testovanie

Na základe naimplementovaného rámca bolo umožnené jednoducho spočítať rôzne typy simulácií na aktuálne používaných modeloch systémom Floreon+. Pri testovaní som overil spôsob vytvárania zrážko-odtokových simulácií všetkých podporovaných modelov s, aj bez náväznosti na podporovaný hydrodynamický model pre výpočet rozlivu. 1 zrážko-odtoková simulácia bola vytvorená a spočítaná v prípade, kedy chcel užívateľ spočítať simuláciu bez zadaných užívateľsky definovaných hodnôt. V prípade, ak užívateľ tieto hodnoty zadal, mohli byť spúšťané 3, alebo 5 zrážko-odtokových simulácií. 3 simulácie boli spúšťané v prípade kedy hodnota rozsahu prepočítaných intervalov nepresiahla hodnotu 8 milimetrov za hodinu, ako to bolo napríklad v prípade počítania zrážko-odtokovej simulácie na povodí Ostravice (kapitola 7.1) s využitím modelu Math1D. V skutočnosti ale boli tieto simulácie vytvorené 4 v dôsledku že jedna simulácia bola použitá ako zdrojová a nebola určená pre tieto výpočty. Počítanie 5 simulácií bolo overené aj v prípade počítania simulácie na povodí Odry (kapitola 7.2), kedy sa na modeli HEC-HMS spočítali ukázkové výsledky hydrogramov. V tomto prípade sa taktiež správne vytvárala ďalšia zdrojová simulácia, ktorá sa ale nepočítala.

V prípade počítania rozlivu nastali v priebehu vývoja drobné komplikácie, pričom niekedy nebola spočítaná hydrodynamická simulácia. Táto chyba sa ale nenachádzala priamo v kóde, ale bola spôsobená serverom, ktorý automaticky prerušoval vykonávanie procesov, kedy tu museli byť explicitne upravené určité predvolené hodnoty serveru.

Počas implementácie a testovania sa občas niekde vynorila drobná chyba, či už pri počítaní modelov, alebo priamo v oblasti rámca, ktorá ale bola vždy okamžite po odhalení odstránená.

8 Záver

Mojou úlohou bolo zameranie sa na What-if analýzy v oblasti hydrológie a naimplementovanie rámca k využitiu analytickej metódy prírodných javov s použitím aktuálne naimplementovaných hydrologických modelov s možnosťou ich previazania.

Musel som si tu preto najskôr naštudovať a pochopiť jednotlivé typy existujúcich modelov v rámci hydrológie, kde medzi najpoužívanjšie patria atmosférické modely určené najmä pre výpočty predikcie zrážok na základe fyzikálnych javov a empirických skúseností. Ďalšou dôležitou skupinou sú zrážko-odtokové modely určené k simuláciám zrážko-odtokovej činnosti v rámci príslušných povodí. A v neposlednej rade sem patria hydrodynamické modely, slúžiace pre výpočty rozlivov, ktoré sú zobrazované na mapách. Mojou úlohou bolo teda vyvinutie rámca, schopného spolupracovať s jednotlivými typmi týchto modelov a taktiež k spúšťaniu simulácií nad týmito modelmi. Modely bolo nutné taktiež medzi sebou previazať, pretože jednotlivé typy modelov na seba naväzujú. Vďaka tomuto rámcu je tak umožnené jednoduché vytváranie nových analýz s možnosťou definície vlastných hodnôt. Keďže rámec je vytvorený obecné bude jeho rozšírenie na ďalšie povodia a schematizácie len otázkou konfigurácie v databázy, bez nutnosti zásahu do aplikácie. Ak by boli v budúcnosti pridané spúšťanie nových modelov, je to len otázka rozšírenia vyvinutých webových služieb pre spúšťanie a taktiež rozšírenie konfigurácie v databázy, bez nutnosti zasahovania do hlavnej časti riešenia.

Rámec umožňuje prehľadné zobrazenie získaných výsledkov na základe ktorých je možné vyvodiť jednotlivé rozhodnutia a opatrenia.

Dobrou myšlienkou do budúcnosti je rozšírenie rámca s priamou interakciou pomocou mapy, kde by bolo možné vyberať napríklad povodia a stanice priamo z mapy. Okrem toho, by bolo možné rámec rozšíriť o možnosť interakcie s ďalšími oblasťami (inými ako je hydrologická oblasť), kde by bolo možné taktiež spúšťať analýzy, ktoré by pomáhali pri ďalších krízových situáciách s uľahčovaním rozhodovaní.

Počas práce na tejto diplomovej práci som pracoval v rámci tímu Floreon+, kde som aktívne spolupracoval s členmi tohto tímu pri vývoji nových riešení. Zlepšil som sa tak aj pri práci v rámci tímu, ako aj pri používaní nových technológií pre tímové zdieľanie zdrojových kódov.

A Prílohy na CD

/Diagramy

- Diagram nasadenia
- Implementáčny pohľad

/Kódy

- WIA - obsahuje rámec what-if analýzy

/Výsledky

- Hydrogram Ostrava
- Hydrogram Svinov
- Hydrogramy Odra
- Rozliv

Literatúra

- [1] IT4Innovations, národní superpočítačové centrum, Dostupné z: <https://www.it4i.cz/>
- [2] Stránky projektu Floreon+, Dostupné z: <http://floreon.vsb.cz/>
- [3] IN-POČASÍ - Numerický model, Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/model/napoveda/>
- [4] Office of Coast Survey - How Hydrodynamic Models Are Used, Dostupné z: http://www.nauticalcharts.noaa.gov/csdl/learn_models.html
- [5] Klasifikace hydrologických modelů - Michal Jeníček, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie
- [6] Modelování neurčitostí ve srážko-odtokových modelech, VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informatiky 2014, vedúci DP Ing. Štěpán Kuchař
- [7] Bc. Radim Vavřík - Vývoj srážko-odtokového modelu Math1D pro spuštění na HPC, VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informatiky 2014, vedúci DP Ing. Štěpán Kuchař
- [8] Bc. Zuzana Haltufová - Zpracování a analýza dopravních dat z reálného provozu, VŠB – TU Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informatiky 2010
- [9] Modelování přírodních procesů, model HEC-HMS, Michal Jeníček, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 2012
- [10] Slunečno.cz - Aladin - model pro předpověď počasí od CHMI, Dostupné z: <http://www.slunecno.cz/clanky/aladin-model-pro-predpoved-pocasi-od-chmi-52>
- [11] R. Hofman, P. Pecha, J. Hošek, M. Pištěk - Comparison of numerical weather prediction models for purposes of atmospheric dispersion modeling in case of an accident in a nuclear facility followed by a release of radionuclides into the atmosphere, Akademie věd České republiky, Ústav teorie informace a automatizace, v.v.i., 2012
- [12] Slunečno.cz - MEDARD online - model pro předpověď počasí, Dostupné z: <http://www.slunecno.cz/clanky/medard-online-model-pro-predpoved-pocasi-55>
- [13] Průvodce informacemi Hlásné a předpovědní povodňové služby ČHMÚ, Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/pruvodce_vodohospodari_modelove_predpovedi.html
- [14] HEC-RAS, River Analysis System, Dostupné z: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf

- [15] V. Vondrák, Š. Kuchař, M. Golasowski, R. Vavřík, J. Martinovič, M. Podhoranyi - "Scalable Algorithms for inverse and Uncertainty Modelling in Hydrology", in J. Kruis, Y. Tsompanakis and B.H.V. Topping, (Editors), "Computational Techniques for Civil and Structural Engineering", Saxe-Coburg Publications, Stirlingshire, UK, Chapter 20, pp 467-486, 2015
- [16] Management mania - What-if Analysis, Dostupné z: <https://managementmania.com/sk/co-ked-analyza-what-if-analysis>
- [17] Management mania -Risk Management, Dostupné z: <https://managementmania.com/sk/riadenie-rizik-risk-management>
- [18] Bc. Radek Bachan - diplomová práce Potenciální hydrologická rizika v povodí Veličky na Masarykově univerzitě, Brno 2014
- [19] Meteocentrum.cz - Meteorologické modely, Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/zajimavosti/encyklopedie/meteorologicke-modely>
- [20] e-pocasi.cz - Meteorologické modely, Dostupné z: <http://www.e-pocasi.cz/modely/>
- [21] Modelování přírodních procesů, model HEC-HMS, Michal Jeníček, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 2012
- [22] CHMI.cz - Předpovědní systém HYDROG, Dostupné z: <http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/c52.pdf>
- [23] Róbert FENCÍK, Ladislav DANEK, Jana DANEKOVÁ, GIS Ostrava 2011, VYUŽITIE GIS APLIKÁCIÍ A HYDRODYNAMICKÉHO MODELOVANIA PRI TVORBE POVO-
DŇOVÝCH MÁP, Katedra mapovania a pozemkových úprav, Stavebná fakulta, STU v Bratislave
- [24] US Army Corps of Engineers, Dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/default.html>
- [25] BRÁZDIL, R. a kol. 2005. Historické a současné povodně v České republice. 1. vyd., Masarykova univerzita, Brno, CHMÚ, Praha, 2005, 369 s.
- [26] W3schools.com - Bootstrap, Dostupné z: http://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap_get_started.asp
- [27] Tiptensoftware - PetaPoco, Dostupné z: <http://www.tiptensoftware.com/petapoco/>
- [28] ECMWF - Forecasts, Dostupné z: <http://www.ecmwf.int/en/forecasts>
- [29] CRNM, National Centre for Meteorological Research - ARPEGE, Dostupné z: <http://www.cnrn-game-meteo.fr/spip.php?article121&lang=en>